

Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme

Universität Stuttgart  
Universitätsstraße 38  
D-70569 Stuttgart

Studienarbeit Nr. 2442

# **Erforschung der Interaktionsmöglichkeiten mit flexiblen und unebenen Oberflächen**

Michael Behringer

<b>Studiengang:</b>	Informatik
<b>Prüfer/in:</b>	Prof. Dr. Albrecht Schmidt
<b>Betreuer/in:</b>	Dipl.-Inf. Markus Funk, M. Sc. Stefan Schneegas, Jun.-Prof. Dr. Niels Henze
<b>Beginn am:</b>	4. November 2013
<b>Beendet am:</b>	6. Mai 2014
<b>CR-Nummer:</b>	H.5.2



## Kurzfassung

Smartphones besitzen eine immer größere Funktionsvielfalt und sorgen dadurch für zunehmende Abhängigkeit. Entsprechend fühlen sich viele Menschen unwohl, wenn kein Zugriff auf dieses möglich ist. Insbesondere in einer Umgebung wie dem Badezimmer kann dies einerseits zu technischen Defekten an der Hardware, andererseits auch zu hygienischen Problemen führen.

Im Rahmen dieser Studienarbeit wurde zunächst eine Online-Umfrage durchgeführt, um nähere Informationen über die vorhandene Ausstattung und die Anwendungsfälle zu erhalten. Auf Basis dieser Ergebnisse wurde ein Prototyp zur Mediennutzung in der Duschkabine entwickelt. Dieser bietet verschiedene Anwendungen wie Musik- und Videoplayer oder auch einen Überblick über zukünftige Termine und den Wetterbericht.

Weiter wurden drei verschiedene Algorithmen entwickelt, welche sich in Komplexität, Geschwindigkeit und Fehlertoleranz unterscheiden. Sowohl das System, als auch die Algorithmen, wurden in einer Nutzerstudie vorgestellt und evaluiert. In dieser zeigte sich, dass die Probanden einem solchen System sehr positiv gegenüber stehen und die Erkennung gut funktioniert.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Motivation</b>	<b>7</b>
1.1	Aufbau dieser Arbeit . . . . .	9
1.2	Eingereichter Artikel auf Grundlage dieser Arbeit . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Grundlagen und verwandte Arbeiten</b>	<b>11</b>
2.1	Grundlagen der Interaktion . . . . .	11
2.2	Systeme mit Front-Kamera . . . . .	14
2.3	Systeme mit Rear-Kamera . . . . .	14
2.4	Verzerrungskorrektur . . . . .	15
2.5	Interaktion im Badezimmer . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Online-Umfrage</b>	<b>19</b>
3.1	Aufbau und Ziele der Umfrage . . . . .	19
3.2	Auswertung . . . . .	19
<b>4</b>	<b>Voruntersuchungen</b>	<b>23</b>
4.1	Anforderungen an das System . . . . .	23
4.2	Geeignete Interaktionsmöglichkeiten . . . . .	24
<b>5</b>	<b>Implementierung</b>	<b>27</b>
5.1	Komponenten . . . . .	27
5.2	Algorithmus 1 - Hottest Point . . . . .	29
5.3	Algorithmus 2 - Fastest Changing Area . . . . .	32
5.4	Algorithmus 3 - Largest Area . . . . .	34
5.5	Grafische Oberfläche und Anwendungen . . . . .	37
5.6	Multi-Touch . . . . .	39
<b>6</b>	<b>Nutzerstudie</b>	<b>41</b>
6.1	Aufbau und Durchführung . . . . .	41
6.2	Auswertung . . . . .	42
6.3	Privatsphäre . . . . .	46
6.4	Weitere Beobachtungen . . . . .	47
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>49</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>51</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>59</b>

# Abbildungsverzeichnis

---

2.1	Tiefenbild-Kamera . . . . .	12
2.2	Infrarot-Kamera . . . . .	13
3.1	Ergebnisse der Online-Umfrage . . . . .	20
3.2	Bewertung der Akzeptanz von Kameras laut Online-Umfrage . . . . .	21
4.1	Verschiedene Interaktionen und ihre Auswirkungen auf die Infrarot-Kamera . . . . .	25
5.1	Messungenauigkeiten . . . . .	28
5.2	Daten der Infrarot-Kamera ( <i>Hottest Point</i> -Algorithmus) . . . . .	29
5.3	Daten der Infrarot-Kamera ( <i>Fastest Changing Area</i> -Algorithmus) . . . . .	32
5.4	Schritte des <i>Largest Area</i> -Algorithmus (1/3) . . . . .	34
5.5	Schritte des <i>Largest Area</i> -Algorithmus (2/3) . . . . .	35
5.6	Schritte des <i>Largest Area</i> -Algorithmus (3/3) . . . . .	35
5.7	Hauptmenü . . . . .	37
5.8	Applikationen - Teil 1 . . . . .	38
5.9	Applikationen - Teil 2 . . . . .	38
5.10	Multi-Touch . . . . .	39
6.1	Studienaufbau . . . . .	42
6.2	Aufnahme der Infrarot-Kamera während der Studie . . . . .	46
6.3	Temperaturverlauf während eines Durchgangs und die erkannten Touch-Events . . . . .	47
6.4	Vorhang mit und ohne Wassereinfluss . . . . .	48

# 1 Einleitung und Motivation

In den letzten Jahren hat sich die Art und Weise des Informationszugriffs stark gewandelt. Ursächlich dafür ist die starke, immer noch zunehmende Verbreitung von Smartphones und artverwandten Geräten wie Tablets. Während zuvor Nachrichten und Informationen durch Tageszeitungen oder zu festen Tageszeiten ausgestrahlte Fernsehsendungen verbreitet wurden, so ist es den Menschen heute durch neue Technologien möglich selbst zu entscheiden wann und welche Informationen abgerufen werden. Mittlerweile ist es zur Gewohnheit geworden zu jeder Zeit und an jedem Ort Zugang zu beliebigen Informationen zu haben, indem auf eine mobile Internetverbindung zugegriffen wird. Diese Möglichkeit bieten 2014 voraussichtlich über 82% der verkauften Mobiltelefone[BITc]. Des Weiteren ist es in vielen Fällen auch möglich zu entscheiden in welcher Form diese präsentiert werden sollen. Die ARD-Tagesschau<sup>1</sup> ist beispielsweise über das Internet sowohl in voller Länge als Wiederholung, Livestream, 100-Sekunden-Kurzversion oder auch als textbasierte Version verfügbar und kann entweder per Mobilapplikation oder direkt durch einen Webbrowser abgerufen werden.

Smartphones durchdringen zunehmend immer mehr Bereiche des täglichen Lebens durch immer neue Anwendungen und Zubehör, so nutzen beispielsweise 34% ihr Smartphone bei sportlicher Betätigung. Bei der jüngeren Generation unter 29 Jahren trifft dies sogar auf 50% zu. Besonders beliebt sind hierbei Applikationen zur Leistungsmessung sowie zum Musik hören[BITb]. Üblicherweise werden drei Gegenstände mit aus dem Haus genommen, das Portemonnaie, der Schlüsselbund sowie das Smartphone. Dieses übernimmt zunehmend auch die Aufgaben der Anderen, so können sich die Nutzer vorstellen das Smartphone als Ausweis (31%), Kreditkarte (43%), Ersatz für diverse Fahrkarten (66%), Zugangsberechtigung für Auto oder Wohnung (46%) oder als Bargeld (17%) zu verwenden[Pri13]. Auch im Auto geht der Trend dahin an Stelle des eingebauten Infotainment-Systems auf das eigene Smartphone zuzugreifen, beispielsweise durch Apple CarPlay<sup>2</sup>.

Mittlerweile verlassen 75% der Deutschen das Haus nicht mehr ohne Smartphone[BITa]. Als Folge fühlen sich nicht wenige Menschen ohne Zugang zu diesem und damit zur digitalen Welt unwohl. Hierfür gibt es im Englischen das Kunstwort Nomophobia (**No-Mobile-Phone-Phobia**). An dieser Angst litten in Großbritannien 2008 laut einer Studie 53%[Cla]. Bis 2012 litten an diesem Syndrom bereits 66%[Sec], bei den unter 24-jährigen sind über 77% betroffen. Nomophobia tritt auf, wenn die Akkukapazität zur Neige geht, man sich in einem Gebiet ohne Empfang befindet oder sein Telefon verliert.

<sup>1</sup><http://www.tagesschau.de>

<sup>2</sup><http://www.apple.com/ios/carplay>

Laut einer noch unveröffentlichten Studie der Universität Bonn[D<sup>1</sup>] wird das Smartphone im Schnitt alle 12 Minuten angeschaltet. Weiterhin kennen 39% das eingebil-dete Gefühl ihr Telefon hätte geklingelt oder vibriert[BITe].

Noch abhängiger von ihrem Smartphone wird voraussichtlich die Generation der "Digital Natives", also der Generation die mit Smartphones und Internet aufgewachsen sind und aufwachsen. Immerhin nutzen bereits knapp 40% der Kinder im Alter von 6 Jahren das Internet und 85% der 12-Jährigen besitzen ein eigenes Smartphone[BITd].

In manchen Umgebungen ist die Nutzung von Smartphones jedoch nicht möglich, beispielsweise bei hoher Luftfeuchtigkeit oder Wasserkontakt. Eine bekannte Umgebung dafür aus dem täglichen Leben ist das Badezimmer. Dennoch verwenden laut einer Studie 75% der Amerikaner ihr Smartphone im Badezimmer und 30% betreten dieses nicht ohne[11M]. Als Folge davon landet 1 von 5 Smartphones am Ende in der Toilette[Pla]. Diese Verhalten ist mit ein Grund dafür, dass Smartphones eine hohe Konzentration an Bakterien aufweisen[Por12], die gesundheitsgefährdend sein können. Das Badezimmer ist demnach kein geeigneter Ort für die Nutzung von Smartphones weder aus praktischen noch aus hygienischen Gründen. Da durchschnittlich knapp 30 Minuten täglich im Badezimmer verbracht werden[AS].

Um Abhilfe zu schaffen existieren verschiedene Projekte, welche Einrichtungsgegenstände wie beispielsweise den Spiegel mit Informationen anreichern (vgl. Kapitel 2). Innerhalb des Badezimmers ist die Duschkabine der ungeeignetste Ort für ein Smartphone, da dieses sofort zerstört würde. Eine durchgeführte Online-Umfrage (vgl. Kapitel 3) zeigt jedoch, dass Interesse besteht dies zu ändern. Die Teilnehmer dieser Studie verbringen durchschnittlich knapp 12 Minuten pro Tag in der Duschkabine, hochgerechnet auf die statistische Lebenserwartung ergibt dies eine Zeit von mehr als einem halben Jahr!

In dieser Arbeit soll untersucht werden, inwiefern auch in einer solchen Umgebung Funktionen eines Smartphones genutzt werden können, ohne die Risiken für Mensch und Technik. Hierfür werden die gewohnten Interaktionswege im Hinblick auf ihre Eignung analysiert. Das entstehende System soll ohne Eingriffe in die Einrichtung funktionieren und der Aufwand dieses zu Nutzen möglichst gering gehalten werden. Um die Funktionsfähigkeit und Nutzerakzeptanz zu prüfen wird anschließend eine Nutzerstudie durchgeführt.



## 1.1 Aufbau dieser Arbeit

Diese Arbeit ist wie folgt gegliedert:

**Kapitel 2 - Grundlagen und verwandte Arbeiten** beschreibt diverse Arbeiten zur Interaktion mit interaktiven Oberflächen. Die Möglichkeiten einer Interaktion in der Umgebung des Badezimmers werden ebenfalls vorgestellt an Hand verwandter Arbeiten.

**Kapitel 3 - Online-Umfrage** stellt die durchgeführte Umfrage vor und berichtet von den gewonnenen Ergebnissen.

**Kapitel 4 - Voruntersuchungen** beschreibt die durchgeführten Voruntersuchungen und deren Ergebnisse.

**Kapitel 5 - Implementierung** stellt den entwickelten Prototypen und die hierfür notwendigen Algorithmen vor.

**Kapitel 6 - Nutzerstudie** beschreibt den Aufbau und Ergebnisse der durchgeführten Nutzerstudie zur Vorstellung und Evaluation des entwickelten Prototyps.

**Kapitel 7 - Zusammenfassung und Ausblick** fasst die Erkenntnisse dieser Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen.

## 1.2 Eingereichter Artikel auf Grundlage dieser Arbeit

Auf Grundlage der im Rahmen dieser Studienarbeit erlangten Ergebnissen wurde ein Artikel erarbeitet und für die *2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp 2014)* eingereicht. Aus diesem Grund basiert diese Studienarbeit auf dem folgenden Artikel:

Funk, M., Schneegaß, S., Behringer, M., Henze, N., Schmidt, A., An Interactive Curtain for Media Usage in the Shower. <i>Submitted to the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp 2014)</i>
--



## 2 Grundlagen und verwandte Arbeiten

In diesem Kapitel werden zunächst die verschiedenen gebräuchlichen Touchscreen-Technologien vorgestellt und anschließend weitergehende Interaktionskonzepte an Hand verschiedener anderer Arbeiten vorgestellt. Abschließend folgen weitere verwandte Arbeiten zum Themengebiet Interaktion im Badezimmer.

### 2.1 Grundlagen der Interaktion

Die Bedienung von Smartphones und Tablets per Touchscreen[Hol03] ist mittlerweile zum Standard geworden. Diese Art der Interaktion ist für die meisten Nutzer sehr intuitiv und entsprechend einfach zu erlernen bzw. zu verwenden. Derzeit werden am häufigsten kapazitive Displays verbaut. Hierbei wird bei Berührung durch einen leitenden Gegenstand ein elektrisches Feld verzerrt und so die Position ermittelt. Eine weitere Variante sind die resistiven Displays die meist in billigeren Geräten zum Einsatz kommen und durch Druck einen Stromkreis schließen. Hierbei ist auch die Bedienung durch nicht-leitende Gegenstände möglich. Weitere Möglichkeiten sind akustische Touchscreens die unterschiedliche Schallwellen nutzen und optische Touchscreens die durch unterbrochene Lichtschranken eine Berührung erkennen[SBD<sup>+</sup>08].

Alle diese Technologien nutzen weitgehend starre Oberflächen aus Glas oder Plastik, weshalb mit zunehmender Größe sowohl das Gewicht als auch je nach Technik der Preis stark steigt und gleichzeitig die Mobilität sinkt. Aus diesem Grund sind diese Technologien für den Massenmarkt in vielen Fällen ungeeignet und bei steigenden Display-Größen nur in Forschungsprojekten oder Technologiestudien verbreitet.

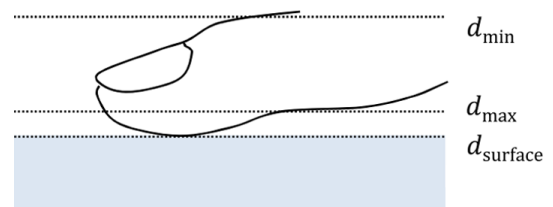
In den letzten Jahren sanken die Preise von Projektoren zunehmend, auch die Größe selbiger sinkt immer weiter wie das zunehmende Angebot an Pico-Projektoren zeigt. Dies geht soweit, dass mittlerweile Projektoren in Smartphones integriert werden können und Marktreife erlangt haben (vgl. Samsung Galaxy Beam[Ihl] und Samsung Galaxy Beam 2[Seb14]). Dadurch eröffnen sich neue Wege der Interaktion, welche mittlerweile verhältnismäßig kostengünstig umgesetzt werden können. Pinhanez[Pin01] nutzt Projektoren um an beliebigen Stellen im Raum ein Display zu erzeugen. Als Einsatzmöglichkeit hierfür nennt er einen Konferenzraum ohne Notebooks, in dem On-Demand-Displays auf den Tisch vor den Teilnehmern projiziert werden. Diese können bei Bedarf ein- und ausgeschaltet werden, beispielsweise dynamisch per Geste. Hierfür ist lediglich ein Projektor pro Display nötig, welcher auf einen beweglichen Spiegel projiziert. Dieser Spiegel wird so ausgerichtet, dass auf der gewünschten Oberfläche ein Bild entsteht. Für alle Konferenzteilnehmer existiert ein zusätzliches zentrales Display.

Um einen virtuellen Touchscreen zu erzeugen muss zusätzlich noch der Rückkanal implementiert werden, d.h. die Interaktion muss erkannt und die Position derselben bestimmt werden. Hierfür existieren verschiedene Wege:

- **RGB-Kamera** Wenn eine normale RGB-Kamera zum Einsatz kommen soll, so kann das System lediglich auf das aufgenommene zweidimensionale Bild zugreifen. Entsprechend müssen alle benötigten Informationen aus diesem Bild analysiert werden. Um den Unterschied zwischen Hand des Nutzers und der Entfernung zur Oberfläche zu unterscheiden gibt es verschiedene Wege. Es kann der Schattenwurf der Hand genauer analysiert werden, da sich dieser vergrößert und von der Hand entfernt je weiter diese von der Oberfläche entfernt wird [Pin01] oder durch Druck entstehende Farbveränderungen der Finger analysiert werden [MPP<sup>+</sup>08]. Wenn mehrere Kameras eingesetzt werden kann auch die Disparität zwischen den aufgenommenen Bildern zur Positionsbestimmung genutzt werden, was aber eine exakte physikalische Anordnung der Kameras erfordert. [Wil04]. Basierend auf den so extrahierten Informationen kann die Interaktion erkannt und entsprechend reagiert werden.



(a) Aufnahme einer Tiefenbild-Kamera



(b) Schematische Darstellung der verschiedenen Interaktionszonen [Wil10]

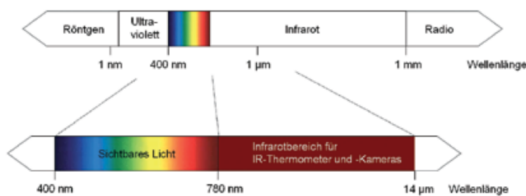
**Abbildung 2.1:** Tiefenbild-Kamera

- **Tiefenbild-Kamera** Während bei der RGB-Kamera der Abstand zwischen Hand und Oberfläche mühsam aus den Bildinformationen berechnet werden muss, was zudem auf Grund der angewandten Technik nur eine Schätzung ist, so liefert eine Tiefenbild-Kamera wie Microsofts Kinect (vgl. Abbildung 2.1a) hier die genauen Abstände zu jedem Bildpunkt. Hierbei existieren hauptsächlich zwei verschiedene Möglichkeiten [DDW12] diese Werte zu berechnen. Die erste Variante ist der *Time-of-Flight*-Ansatz bei dem die Laufzeitunterschiede zwischen Aussendung und Auftreffen gemessen werden. Der zweite, von der ersten Version der Microsoft Kinect verwendete, Ansatz basiert auf einem ausgestrahlten *Lichtmuster*, welches anschließend durch Triangulation mit dem entstehenden Muster verglichen wird. Somit muss der Abstand nicht mehr indirekt berechnet werden, sondern kann exakt bestimmt werden [Zha12].

Wilson [Wil10] beschreibt hierzu verschiedene Zonen (Abbildung 2.1b) in denen sich die Interaktion abspielt. Die Größe dieser Zonen muss so gewählt werden, dass erst eine Berührung erkannt wird wenn auch der Finger nahezu auf der Oberfläche ist und nicht früher, da ansonsten eine perspektivische Verzerrung eintritt und die Interaktion an unerwarteter Stelle geschieht. Diese Zonen könnten erweitert werden um so auch

beispielsweise Mausbewegungen zu ermöglichen. Bedingt durch verfahrensbedingtes Rauschen sind kleine Flächen nicht ganz exakt zuzuordnen, was durch Nutzung größerer Flächen wie der Hand jedoch kein Problem darstellt[BW09].

- **Infrarot-Kamera** Einen anderen Ansatz verfolgen Infrarot-Kameras. Das menschliche Auge sieht lediglich einen kleinen Teil des Lichtspektrums (vgl. Abbildung 2.2a). Infrarot-Strahlung ist hierbei auf die Wellenlänge zwischen  $0.78 \mu\text{m}$  und  $1000 \mu\text{m}$  festgelegt. Diese wird von jedem Gegenstand abgegeben, sofern dessen Temperatur über dem absoluten Nullpunkt liegt und nach DIN 5031 noch weiter unterteilt in nahes Infrarot (NIR), mittleres Infrarot (MIR) und fernes Infrarot (FAR). Diese Unterteilung ergibt sich aus der jeweiligen Entfernung zum sichtbaren Licht[Hol]. Für die Temperaturmessung ist hierbei das nahe und mittlere Infrarot, im Wellenlängenbereich von  $0.7 \mu\text{m}$  bis  $14 \mu\text{m}$  interessant, da anschließend die Energiemengen zu gering für die Detektoren werden[Opt].



(a) Elektromagnetisches Spektrum[Opt]



(b) Wärmebild eines Menschen[SAH<sup>+</sup>14]

**Abbildung 2.2:** Infrarot-Kamera

Mit Hilfe der Infrarot-Temperaturmessung kann die Temperatur aus der Entfernung bestimmt werden ohne Berührung des Gegenstands und ohne diesen durch die Messung zu beeinflussen. Ebenfalls ist so die Temperaturmessung über größere Flächen und an schwer zugänglichen Orten möglich.

Einsatzgebiete für diese Technik sind weitläufig und reichen von der Visualisierung defekter Hausisolierung über KFZ-Diagnose bis hin zu Einsatzkräften, die so leichter Brandherde auffinden und verschollene Personen in verrauchten Räumen erkennen können[Opt].

Im Hinblick auf Interaktion kann mit Hilfe solcher Kamera die Erwärmung von Flächen überwacht werden und so ein virtueller Touchscreen implementiert werden der auf Wärme reagiert.

Diese virtuellen Touchscreens bieten den Vorteil, dass der Preis nicht direkt im Zusammenhang mit der Größe steht bzw. diese nach Bedarf angepasst werden kann, zudem sinkt die Gefahr von Vandalismus und Beschädigungen an solchen Systemen[Pin01], da die Technik abseits der Interaktionsfläche untergebracht ist.

Im Folgenden werden verschiedene Einsatzszenarien der oben vorgestellten Interaktionswegen an Hand der Kamera-Position, relativ zum jeweiligen Nutzer, klassifiziert und vorgestellt.

### 2.2 Systeme mit Front-Kamera

Zunächst werden Systeme vorgestellt in denen sich die Technik im gleichen Interaktionsraum wie der Nutzer befindet, d.h. diese ist beispielsweise neben oder über diesem platziert. Marshall et. al.[MPP<sup>+</sup>08] nutzen eine gewöhnliche RGB-Kamera um den Farbunterschied am Fingernagel zu erkennen. Durch den Druck auf eine feste Oberfläche wird das Blut aus diesem herausgedrückt und der Finger somit heller, während gleichzeitig die Farbtintensität in der Nähe des Nagelbettes steigt. Dieser Effekt beruht auf den physiologischen Gegebenheiten der Hand und ist somit unabhängig von der Oberfläche. Dieses System ist darüber hinaus auch drucksensitiv.

Ein System was für die Erkennung eine Tiefenbild-Kamera nutzt ist *OmniTouch* von Harrison et. al.[HBW11]. Da bereits die Handfläche die Größe der durchschnittlichen Smartphones überschreitet ist die Idee diese als mögliche Interaktionsfläche zu nutzen. Hierfür werden hierbei sowohl Kamera als auch Pico-Projektor auf der Schulter des Anwenders befestigt. *OmniTouch* unterstützt sowohl Berührungen als auch Bewegungen über der Oberfläche und ermöglicht so ein Verhalten ähnlich herkömmlicher Touchscreens. Als Interaktionsfläche werden beliebige Oberflächen (Handfläche, vor die Kamera gehaltene Notizblöcke oder dauerhafte Umgebungsflächen) unterstützt. Weiterhin kann auch eine Kombination hiervon verwendet werden um beispielsweise auf der linken Hand eine Farbauswahl und auf einer Wand dahinter die Zeichenfläche. Diese Oberflächen werden automatisch erkannt und auf Eignung geprüft.

Shirazi et. al[SAH<sup>+</sup>14] verwenden die Reflektion einer Wärmequelle um Gesten zu erkennen. Somit muss die Kamera keine direkte Sicht auf den Nutzer haben, sondern lediglich eine reflektierende Oberfläche überwachen. Hierfür eignen sich u.a. Oberflächen aus Glas oder Aluminium. Somit erweitert sich der Interaktionsraum im Vergleich zu RGB- oder Tiefenbild-Kameras, da die Interaktion auch hinter der Kamera stattfinden kann.

### 2.3 Systeme mit Rear-Kamera

In manchen Fällen darf oder kann die Technik nicht im selben Interaktionsraum platziert werden. Dies kann beispielsweise der Fall sein, wenn die Umgebung zu kalt oder feucht für die benötigte Hardware oder zu wenig Platz für diese vorhanden ist. Das oben beschriebene System von Marshall et. al.[MPP<sup>+</sup>08] kann auch in dieser Umgebung eingesetzt werden, sofern die Oberfläche durchsichtig ist. Hier eignet sich beispielsweise eine Glasscheibe. Benko und Wilson [BW09] nutzen eine Tiefenbild-Kamera und ermöglichen so nicht nur auf der Oberfläche sondern auch in der Ebene davor zu interagieren. Erneut wird auf eine transparente Oberfläche projiziert, was es der Kamera ermöglicht ein 3-dimensionales Tiefenbild des

Interaktionsraums durch die Oberfläche hindurch zu generieren. Für die Interaktion wird der Torso durch gemittelte Tiefenkoordinaten herausgeschnitten und lediglich die Hände genauer betrachtet. So können diverse Ebenen (vgl. Abbildung 2.1b) genutzt werden in denen unterschiedliche Aktionen ausgeführt werden (Klick, Bewegung, Gesten, etc.).

Bei Wilson's TouchLight [Wil04] wird mit zwei ausgerichteten Kameras an Hand deren Disparität das Objekt auf oder nahe der Oberfläche erkannt. Hierbei wird das Lichtspektrum des Projektors so verändert, das nur sichtbares Licht ausgestrahlt wird, während die Kameras nur die Infrarotstrahlung aufzeichnen. Somit wird das projizierte Bild eindeutig von der Interaktion abgetrennt. Iwai und Sato[IS05] nutzen eine Infrarotkamera und Rückprojektion für ihr *ThermoTablet*-Projekt. Dieses ermöglicht die Erstellung und Veränderung von Bildern. Hierbei misst eine, hinter der Papier-Oberfläche montierte, Infrarot-Kamera die Temperaturveränderungen und ein angeschlossener PC interpretiert diese Daten. Entsprechend der Temperatur wird eine Linie somit beispielsweise dicker oder dünner gezeichnet. Eine andere Möglichkeit besteht darin die Farbsättigung durch Wärme zu erhöhen bzw. durch Kälte zu verringern. Hierzu werden beispielsweise durch warmes (kaltes) Wasser erwärmte (gekühlte) Metallblöcke genutzt.

## 2.4 Verzerrungskorrektur

Ein Nachteil von Projektionen ist die entstehende Verzerrung des Bildes. Dieses Phänomen tritt immer dann auf, wenn entweder die Oberfläche uneben oder der Projektor nicht exakt frontal und auf gleicher Höhe positioniert ist. Die Grundidee der Verzerrungskorrektur basiert darauf die entstehende Verzerrung zu analysieren und basierend darauf das projizierte Bild entgegengesetzt zu verzerren. Dieses verzernte Bild wird dann durch die unebene Oberfläche entzerrt und somit entsteht der korrekte Bildeindruck[RBY<sup>+</sup>99]. Hierzu muss zunächst die Kamera mit dem Projektor kalibriert werden, der gebräuchlichste Weg hierzu ist die Verwendung eines bekannten, geometrischen Musters, in der Regel ein Schachbrett. Dieses wird vor der Kamera bewegt und gedreht bis alle benötigten Parameter berechnet wurden, alternativ kann auch die Kamera bewegt werden[Zha99, RBY<sup>+</sup>99]. Um ein 3D-Modell der Projektionsfläche zu generieren gibt es zwei verschiedene Ansätze[KR13], den *Structured Light Pattern*-Ansatz und die Verwendung einer *Tiefenbild*-Kamera. Bei ersterem wird ein sichtbares Muster in die Ausgabe eingebettet und die Veränderung von einer RGB-Kamera registriert. An Hand der Verzerrung kann die Struktur der Oberfläche berechnet werden. Da jedoch sichtbares Licht verwendet wird verringert dieses Muster die Bildqualität. Der andere Ansatz verwendet eine Tiefenbild-Kamera und ist somit unsichtbar für den Anwender. Mit Hilfe dieses 3D-Modells kann die entstehende Verzerrung, bei Projektion auf die Oberfläche, simuliert werden. Wird das 3D-Modell an der z-Achse gespiegelt und erneut die Verzerrung simuliert entsteht das oben angesprochene vorverzernte Bild, welches dem Anwender die korrekten, unverzerrten Ansicht gewährleistet.

### 2.5 Interaktion im Badezimmer

Gerade im Bezug auf die Umgebung des Badezimmers wurden bereits mehrere unterschiedliche Arbeiten für die verschiedenen Einrichtungsgegenstände veröffentlicht. Lashina[Las04] nennt drei Richtlinien für die Mediennutzung in dieser Umgebung. Zunächst muss die Bedienung auch mit nassen Händen möglich sein. Weiter soll auf die Verwendung von Sprachsteuerung möglichst verzichtet werden, da im Badezimmer ein gewisser Geräuschpegel herrscht. Letztlich soll die Bedienung in die Umgebung eingebettet sein, da eine Fernbedienung nicht zielführend wäre. Laut Lashina[Las04] steht im Badezimmer nicht die Mediennutzung, sondern die Effizienz im Vordergrund, entsprechend soll der Anwender während seiner primären Tätigkeit parallel auf Informationen zugreifen können.

Ein Spiegel ist üblicherweise in jedem Badezimmer vorhanden und bietet eine große, gut sichtbare und ebene Oberfläche vor der meist länger interagiert wird[FKN05, Las04], beispielsweise während der Zahnpflege. Aus diesem Grund bietet sich diese Fläche zur Anzeige von Daten an.

Fujinami et. al. [FKN05] entwickelten mit dem *Aware Mirror* einen Ansatz um diese Fläche nicht ungenutzt zu lassen. Dieser verhält sich wie ein gewöhnlicher Spiegel und wird erst aktiviert, wenn der Nutzer seine Zahnbürste in die Hand nimmt. Somit kann gleichzeitig erkannt werden mit welcher Person interagiert wird und entsprechende Informationen, wie das Wetter, die Temperatur und die Fahrzeit zum nächsten Termin, angezeigt. Hierfür wird eine transluzente Oberfläche genutzt, welche bei starken Helligkeitsunterschieden reflektiert und bei geringen Helligkeitsunterschieden den Blick auf das dahinterliegende LCD-Display freigibt. Falls ein unter dem Spiegel angebrachter Reißverschluss geöffnet wird werden detailliertere Informationen eingeblendet und der Status eines Ambient-Displays verlassen. Hierbei können die Informationen entweder am unteren Rand als Lauftext angezeigt werden oder den kompletten Spiegel einnehmen. Falls der Nutzer den Bereich vor dem Spiegel verlässt wird dies durch Infrarot-Kameras erkannt und das System abgeschaltet. Als Problem gestaltet sich die Interaktion da sowohl Fingerabdrücke als auch Knöpfe die Funktion bzw. die Optik zerstören würden.

Dieses Problem versuchen Ding et. al. [DHL<sup>+</sup>08] bei ihrem Ansatz durch Sprachsteuerung zu umgehen. Für ihren *Magic Mirror* wird ein reflektierendes Glas genutzt um entweder als Spiegel zu fungieren oder die Sicht auf das dahinter verbaute LCD-Panel freizugeben. Die Interaktivität des Spiegels ist somit völlig unsichtbar in die Umgebung integriert. Auf ein Sprachkommando wird dieser aktiviert, bietet eine grafische Oberfläche, angelehnt an das Märchen von Schneewittchen, und antwortet je nach Kommando passend per Sprache und Grafik, beispielsweise mit dem aktuellen Wetter oder dem Kalender. Auch das Starten von Musik- und Videowiedergabe ist auf diesem Wege möglich.



Lashina[Las04] geht noch einen Schritt weiter. Neben den bereits bekannten Anwendungen wie Wetter- und Verkehrsmeldungen bietet dieser Spiegel zusätzlich die Möglichkeit auf im Boden angebrachte Sensoren zuzugreifen und so das Gewicht des Anwenders zu messen. Auch die Beleuchtung kann gesteuert werden und so entweder ein virtueller Sonnenaufgang bei Betreten des Badezimmers oder perfekte Ausleuchtung des Gesichts gewährleistet werden. Bedient wird dieses Konzept, um Fingerabdrücke zu vermeiden, über Gesten und Sensoren am Rahmen.

Die nächste Einrichtung im Badezimmer in der viel Zeit verbracht wird ist die Badewanne. Hirai et. al [HSH12] nutzen mit *Bathcratch* den Rand derselben um einen virtuellen DJ-Pult zu implementieren. Auf der linken Seite befinden sich kapazitive Sensoren zur Auswahl des abgespielten Titels, auf der rechten Seite dagegen ein Kontaktmikrofon um die, durch Bewegung der Hand oder Finger erzeugten, charakteristischen Vibrationen aufzuzeichnen. Die Benutzeroberfläche wird über einen an der Decke angebrachten Projektor auf den Rand der Badewanne projiziert. Da alle Sensoren innerhalb der Badewanne angebracht sind wird kein Eingriff in die gewohnte Umgebung nötig.

Ein weiteres für die Badewanne geeignetes Projekt stellt das *AquaTop-Display* von Matoba et. al. [MTT<sup>+</sup>13] dar. Hierbei wird die schaumige Oberfläche als Leinwand für einen an der Decke angebrachten Projektor verwendet. Ebenfalls an der Decke angebracht ist eine Tiefenbildkamera, die Interaktionen, sowohl von oberhalb als auch von unterhalb der Wasseroberfläche, erkennt. Somit sind einzelne Finger die von unten durch die Wasseroberfläche brechen sowohl zu erkennen als auch auf Grund der Position einer Hand zuzuordnen. Dies ermöglicht völlig neue Nutzererfahrungen wie beispielsweise durch die Wasserströmung mitschwimmende Bilder, Löschen durch Greifen und unter Wasser ziehen oder Drag and Drop durch Anheben und Ablegen von Wasser. Mit diesen Möglichkeiten bieten sich natürlich auch immersive Spiele an. Rückmeldung erhält der Anwender über Unterwasser-Lautsprecher, welche Wellen verursachen.

Eine weitere Arbeit die sich nicht nur auf einzelne Einrichtungsgegenstände konzentriert sondern auch die Umgebung mit einbezieht beschreiben Bujnowski et. al. [BPW11] als *Intelligent Bathroom* und ist bereits stark an das Konzept des Smart Homes angelehnt. Auch hier wird als zentrales Element die Badewanne genutzt aber zusätzlich auch mit weiteren unsichtbaren Sensoren die Luftfeuchtigkeit, die Wassertemperatur und sogar ein Elektrokardiogramm (EKG) der badenden Person anzufertigen. Die Herzfrequenz wird hierbei ohne weitere Sensoren an der Person direkt von den eingebauten Sensoren der Badewanne gemessen. Dies ermöglicht dem System auf gefährliche Situationen wie zu warmes Wasser oder Herzrhythmusstörungen zu vermeiden und notfalls Hilfe zu holen. Auch vor nassem Boden in der Nähe der Badewanne kann gewarnt werden um die Unfallgefahr zu verringern. Ebenso wird ein Überlaufen der Badewanne verhindert und dem Nutzer bei zu niedriger Temperatur nahegelegt das Bad zu beenden. Ein weiterer nützlicher Aspekt ist die automatische Regulierung der Luftfeuchtigkeit um Schimmelbildung zu vermeiden.

Alle vorgestellten Systeme verändern die ursprüngliche Einrichtung des Badezimmers nicht und fordern somit keine Änderung der Gewohnheiten, wie dies beispielsweise bei einer Fernbedienung der Fall wäre.



## 3 Online-Umfrage

Um mehr Informationen über die Gewohnheiten und Wünsche der künftigen Nutzer zu erfahren wurde eine Online-Umfrage durchgeführt. Im Folgenden wird der Aufbau und die Ziele derselben beschrieben und ausgewertet.

### 3.1 Aufbau und Ziele der Umfrage

Während der Literaturrecherche wurde festgestellt, dass zwar eine Vielzahl an Studien bezüglich der Nutzung des Badezimmers sowie der Dusche existieren, jedoch keine näheren Erkenntnisse bezüglich der Interaktion in selbiger vorliegen. Aus diesem Grund wurde ein Fragebogen (vgl. Anhang A.1) entworfen um genauere Informationen zu erheben. Da eine möglichst große Anzahl Personen mit unterschiedlichen Hintergründen befragt werden sollte, wurde dieser Fragebogen für einen Zeitraum von 14 Tagen im Internet veröffentlicht und über soziale Netzwerke und Mailinglisten verbreitet. Als Anreiz wurden vier Amazon-Gutscheine im Wert von je 25 Euro unter allen Teilnehmern verlost.

Hauptsächlich interessierte hierbei, welche Anwendungsfälle mögliche Nutzer an ein solches System haben und welche Umgebung hierbei zur Verfügung steht.

### 3.2 Auswertung

Insgesamt beteiligten sich an dieser Umfrage 381 Personen (284m/97w) im Alter zwischen 17 und 65 Jahren ( $M = 27.97$ ,  $SD = 8.2$ ) teil. Geographisch verteilten sich die Teilnehmer über fünf Kontinente mit einem Schwerpunkt auf Europa. Auch im Hinblick auf den beruflichen Hintergrund wurde eine große Streuung erzielt, von Studenten unterschiedlichster Fachrichtungen über Ingenieure und Redakteure bis hin zu Krankenschwestern.

Durchschnittlich duschen die Teilnehmer 6.2-mal pro Woche ( $SD = 2.31$ ) je 12.87 Minuten ( $SD = 8.67$ ). Dies verteilt sich hauptsächlich auf den Morgen (70.34%) und Abend (58.79%), während sich mittags lediglich 3.93% unter die Dusche stellen.

In 51.57 % der wird von den Teilnehmern der Umfrage eine Dusche mit Duschvorhang genutzt, entweder als Duschkabine oder als Zusatz zur Badewanne.

Das zweite wichtige Ziel dieser Umfrage betraf die gewünschten Anwendungen der Nutzer. Hierbei wurden einerseits verschiedene Ideen zur Auswahl gestellt (vgl. Abbildung 3) als auch die Möglichkeit gegeben weitere eigene Ideen und Wünsche mitzuteilen.

### 3 Online-Umfrage

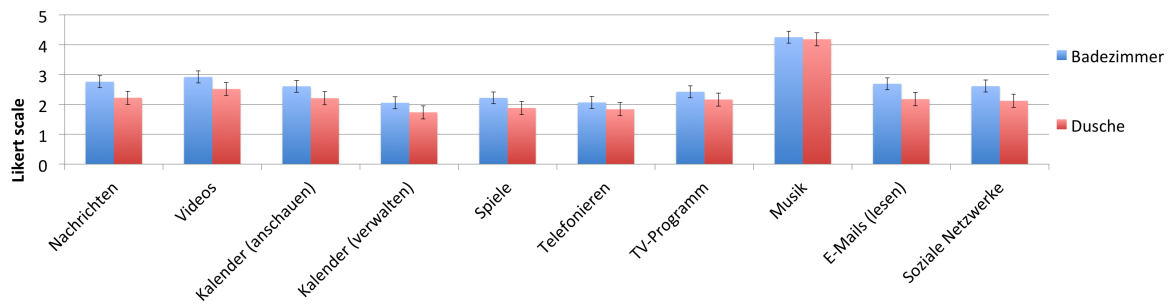
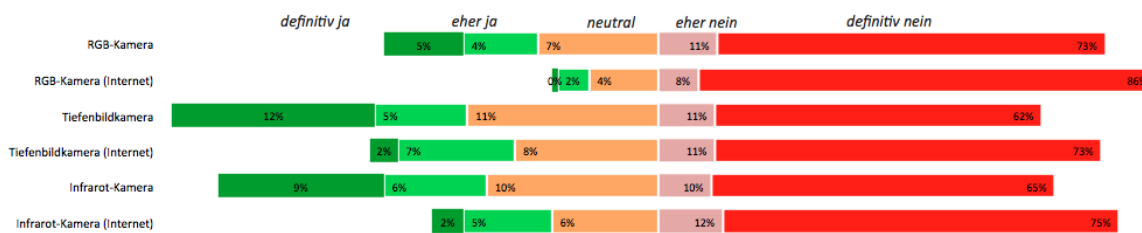


Abbildung 3.1: Ergebnisse der Online-Umfrage

Da laut verschiedener Studien zwischen 16% [EW] und 58% [Har10] der Deutschen unter der Dusche singen, verwundert es nicht, dass sich als mit deutlichem Abstand beliebtestes Szenario der Genuss von Musik ( $Med = 5$ ,  $SD = 1.15$ ) herausstellt. Ebenfalls interessant finden die Teilnehmer das Schauen von Videos ( $Med = 3$ ,  $SD = 1.41$ ) sowie das Lesen von E-Mails ( $Med = 3$ ,  $SD = 1.41$ ) und Nachrichten ( $Med = 3$ ,  $SD = 1.43$ ).

Neben den zur Auswahl gestellten Anwendungsszenarien (vgl. Abbildung 3.1) wurden weitere vorgeschlagen, welche im Folgenden teilweise vorgestellt werden:

- **Karaoke** Entsprechend zur obigen Studie bietet es sich an nicht nur Musik abzuspielen sondern zusätzlich die entsprechenden Texte zur Verfügung zu stellen.
- **Umweltinformationen** Mehrere Teilnehmer wünschen sich Informationen über die aktuelle Verkehrslage oder Veränderungen des Fahrplans der öffentlichen Verkehrsmittel. Weiterhin ist natürlich auch der Wetterbericht des aktuellen Tages interessant für die möglichen Anwender.
- **Smart Home-Funktionen** Die Nutzer wünschen sich zusätzliche Informationen wie beispielsweise die Wassertemperatur, das verbrauchte Wasser oder die bereits vergangene Zeit. Weiterhin wünschenswert sei eine Verbindung zu anderen vernetzten Systemen wie beispielsweise der Kaffeemaschine oder der Heizung.
- **Fortbildung** Einige Anwender würden die Zeit im Badezimmer gerne dazu nutzen sich fortzubilden, beispielsweise Vokabeln lernen per Karteikartensystem oder das Sprachverstehen von Fremdsprachen steigern.
- **Kommunikation** Manche Teilnehmer wünschen sich allgemein alle Anwendungen zur Kommunikation, da auch im Badezimmer Erreichbarkeit notwendig sei.
- **Keine Interaktion** Einige Teilnehmer verstehen das Badezimmer und speziell die Duschkabine als einen der letzten Orte in denen man nicht erreichbar oder von Technik umgeben ist. Dieser solle der Entspannung dienen und eine Interaktion in selbigem wird somit abgelehnt.



**Abbildung 3.2:** Bewertung der Akzeptanz von Kameras laut Online-Umfrage

Ebenfalls gut zu erkennen in Abbildung 3.1 ist, dass der Interaktionswunsch zwar etwas abnimmt im Vergleich zum Badezimmer, jedoch je nach Anwendung immer noch vorhanden ist.

### 3.2.1 Privatsphäre

Ein besonderes Augenmerk der Umfrage galt der Privatsphäre. Da das System ohne Sensoren in der Umgebung funktionieren soll ist zwangsläufig eine Kamera nötig. Hierzu wurde den Umfrage-Teilnehmern jeweils ein Bild, aufgenommen mit einer gewöhnlichen RGB-Kamera, Tiefenbild-Kamera sowie einer Infrarot-Kamera, gezeigt.

Allgemein fällt die Toleranz von Kameras, nicht unerwartet, recht gering aus. Besonders bei einer normalen RGB-Kamera ( $Med = 1, SD = 1.08$ ) ist die Bereitschaft diese in seinem Badezimmer einzusetzen praktisch nicht vorhanden. Etwas besser sieht dies bei einer Infrarot-Kamera ( $Med = 1, SD = 1.34$ ) und einer Tiefenbild-Kamera ( $Med = 1, SD = 1.41$ ) aus, wobei auch hier die Tendenz eindeutig ist.

Sollte zusätzlich auch noch eine Internetverbindung nötig sein, so sinkt die ohnehin geringe Bereitschaft nochmals merklich ( $Med_{RGB} = 1, SD_{RGB} = 1.41, Med_{IR} = 1, SD_{IR} = 1.41, Med_{TB} = 1, SD_{TB} = 1.41$ ). In Abbildung 3.2 ist dies nochmals graphisch aufbereitet und die Unterschiede zwischen den möglichen Kameras hervorragend zu erkennen. Während sich mit der Infrarot- oder Tiefenbild-Kamera immerhin noch gut jeder vierte Umfrageteilnehmer arrangieren kann so sind es mit der RGB-Kamera lediglich noch 15%.



## 4 Voruntersuchungen

In diesem Kapitel werden zunächst allgemeine Anforderungen an ein solches System formuliert und anschließend geprüft inwiefern die in Kapitel 2 gefundenen Interaktionswege hierfür geeignet sind. Diese wurden einer genaueren Prüfung unterzogen und eine Auswahl getroffen.

### 4.1 Anforderungen an das System

Um die Nutzung des Systems möglichst einfach zu gestalten sollen die folgenden Punkte bereits erfüllt oder integrierbar sein.

- **Bedienbarkeit/ Benutzerfreundlichkeit** - Die Bedienung und Erscheinung sollen dem Nutzer vertraut wirken um diesem einen möglichst einfachen Einstieg zu ermöglichen. Entsprechend bietet sich eine Anlehnung an gängige Geräte wie Smartphones oder Tablets an, sowohl in der Art der Bedienung als auch von der Oberfläche.
- **Robustheit** - Auch unter den Umwelteinflüssen des Badezimmers muss das System bedienbar bleiben. Hierzu müssen sich falsch erkannte Eingaben weitest möglich in Grenzen halten.
- **Schutz der Privatsphäre** - Die Umgebung des Badezimmers bedarf bezüglich der Privatsphäre besondere Beachtung. Im Abschnitt 3.2.1 wurde dieser Punkt basierend auf der durchgeführten Online-Umfrage genauer evaluiert und diese Bedeutung nochmals unterstrichen. Besonders in Kombination mit einer Internetverbindung sind hier die Bedenken der Nutzer sehr stark ausgeprägt.
- **Unaufdringlichkeit/ Integration** - Für den Erfolg des Systems ist es ebenfalls erforderlich, dass der Aufwand dieses zu installieren und vor allem zu nutzen möglichst gering ist. Benko und Wilson nennen dies *“walk-up-and-use” simplicity*[BW09]. Demzufolge soll der Nutzer seinen gewohnten Ablauf beibehalten können, ohne zusätzliche Geräte oder Sensoren nutzen zu müssen.
- **Interaktions-Workflow** - Wie in Abschnitt 2.5 zu sehen existieren bereits andere interaktive Systeme innerhalb des Badezimmers. Ein möglicher Ablauf könnte sein, während der Zahnhygiene die Musikwiedergabe über einen interaktiven Spiegel zu starten und, wenn ein Titel nicht gefällt, diesen aus der Dusche zu überspringen. Ohne diese Möglichkeit müsste dieser Titel die volle Laufzeit angehört werden.

- **konsistente, einfache Oberfläche** - Ein solches System muss keinen vollwertigen Computer oder Smartphone ersetzen können, sondern einige wenige Anwendungsfälle unterstützen (vgl. Kapitel 3). Somit soll die Oberfläche schlicht und zweckmäßig gestaltet sein, d.h. in diesem Fall große und aussagekräftige Schaltflächen.

### 4.2 Geeignete Interaktionsmöglichkeiten

Im folgenden werden die gefundenen Interaktionswege auf ihre Praxistauglichkeit in einer Duschzelle geprüft:

- **Sprach-basierte Interaktion** ist prinzipiell immer möglich, sofern sich die Umgebungsgeräusche in Grenzen halten. Da in dieser Arbeit jedoch die Interaktion in einer Duschkabine untersucht werden soll ist eine Sprachsteuerung nicht zielführend, da diese durch die Umgebungsgeräusche tendentiell zu stark gestört wird. Ebenfalls würde der Nutzer möglicherweise in seiner Freiheit eingeschränkt, da laut einer Studie von TNS Infratest[E W] immerhin 16 Prozent unter der Dusche singen was eine Sprachsteuerung ausschließt und darüber hinaus einen positiven Effekt auf die Gesundheit und Lebenserwartung bietet[Fri].
- **Gesten-basierte Interaktion** ist in diesem Fall nicht möglich, da die Erkennungsgeräte sich im gleichen Raum befinden müssen oder zumindest eine freie Sicht auf die interagierende Person gewährleisten muss. Selbst wenn letzteres gegeben sein sollte, wird der Nutzer in seiner Bewegungsfreiheit eingeschränkt oder Fehleingaben provoziert, aus diesem Grund wird die Interaktion ohne Freihand-Gesten auskommen müssen.
- **Entfernungs-basierte Interaktion**, d.h. basierend auf dem Abstand zur Tiefenbildkamera ist prinzipiell möglich. Duschvorhänge sind üblicherweise nicht durchsichtig aber flexibel, weshalb es dem Nutzer möglich ist diesen soweit nach außen zu drücken, dass hier ein Unterschied messbar wird auf den reagiert werden kann. Dieses Verhalten ist zudem für den Nutzer intuitiv, da ähnlich zu resistiven Touchscreens.
- **Temperatur-basierte Interaktion** ist ebenfalls in Betracht zu ziehen, falls die Oberfläche über gute Wärmeleitfähigkeiten verfügt. Auch hier sollte es einem Nutzer sehr einfach fallen sich an das System zu gewöhnen, da es von der Bedienung einem kapazitiven Touchscreen ähnelt.

Entsprechend kommt für diesen Anwendungsfall nur die Erkennung per Tiefenbild-Kamera oder Infrarot-Kamera weiter in Frage. Um eine Auswahl zu treffen wurden einige zufällige Personen zu diesen beiden Techniken befragt und gebeten diese zu testen.

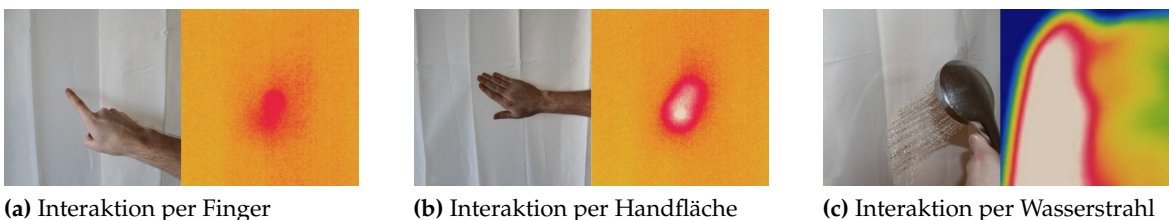


### 4.2.1 Tiefenbild-Kamera

Um die Interaktion mit Hilfe einer Tiefenbild-Kamera zu testen wurde eine Microsoft Kinect sowie die mitgelieferten Beispielpprogramme genutzt. Hierbei wurde bemängelt, dass einerseits der Vorhang verhältnismäßig weit bewegt werden muss um sicher zu gehen, dass keine Fehleingaben auf Grund der natürlichen Bewegung des Duschvorhangs entstehen. Diese Bewegung versetzt den ganzen Vorhang in Schwingung so dass in der Folge weitere ungewollte Eingaben nicht ausgeschlossen werden können. Zudem wurde die dadurch entstehende Verzerrung des projizierten Testbildes als seltsam empfunden, da bereits nach sehr kurzer Distanz die Interaktion nicht mehr an der ursprünglichen Position, bezüglich der Projektion, stattfindet und man geneigt ist die Position zu korrigieren.

### 4.2.2 Infrarot-Kamera

Beim Test der Infrarot-Kamera stellte sich heraus, dass diese eine Berührung des Duschvorhangs, besonders im Vergleich zur Tiefenbild-Kamera, erstaunlich deutlich registriert. Ein Duschvorhang erwies sich als guter Wärmeleiter, ebenso wird dieser nur minimal in Bewegung versetzt auch wenn die Nutzer dazu neigten stärker zu drücken. Des Weiteren lässt sich eine Berührung durch die Fingerspitze ähnlich gut erkennen wie bei Verwendung der ganzen Handfläche. Diese unterscheiden sich nur durch Fläche der Erwärmung und die Zeitdauer. Auch ein Ausatmen gegen den Vorhang kann mit einer Infrarot-Kamera wahrgenommen werden, was die Sensitivität nochmals unterstreicht. Von den befragten Personen wurde diese Variante als interessanter und auch bequemer bezeichnet. In Abbildung 4.1 werden die Auswirkungen von Berührungen auf das Wärmebild dargestellt. Besonders durch einen Wasserstrahl sind sehr deutliche Auswirkungen zu beobachten.



**Abbildung 4.1:** Verschiedene Interaktionen und ihre Auswirkungen auf die Infrarot-Kamera

### **4.2.3 Auswahl**

Eine Interaktionserkennung mit Hilfe einer Tiefenbild-Kamera wirkt demnach auf den Nutzer unnatürlich, verwirrend und unbequem während gleichzeitig eine Verzerrungskorrektur nahezu unverzichtbar wird. Eine Infrarot-Kamera bietet dagegen mehr Interaktionswege und stößt dabei auf mehr Zuneigung der Testpersonen. Allerdings sind hierbei die Hardware-Kosten deutlich höher. Da die Tiefenbild-Kamera jedoch nicht ungeeignet scheint könnte diese als Fallback-Technik eingesetzt werden, falls die Infrarot-Kamera im Hinblick auf Reaktionsgeschwindigkeit und Fehlertoleranz nicht wie gewünscht reagieren sollte.

# 5 Implementierung

In diesem Kapitel werden sowohl die einzelnen Komponenten als auch der Aufbau des kompletten Systems erklärt. Des Weiteren werden die Grundlagen der Erkennungsmechanismen erläutert und, darauf aufbauend, die resultierenden Algorithmen entwickelt.

## 5.1 Komponenten

Inklusive Vortests wurden folgende Komponenten verwendet:

- **Infrarot-Kamera** zur Erkennung der Interaktion
- **Tiefenbild-Kamera** zur Erkennung der Interaktion und Verzerrungskorrektur
- **Projektor** zur Erzeugung der grafischen Oberfläche
- **Computer** als zentrale Einheit

### 5.1.1 Infrarot-Kamera

In diesem Projekt wurde eine Optris PI-160 genutzt. Diese bietet eine optische Auflösung von 160\*120 Pixel und deckt einen Temperaturbereich von  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $900^{\circ}\text{C}$  ab. Die Messung erfolgt mit 120 Bildern pro Sekunde.

Der Hersteller liefert eine Software namens *PI Connect* mit, über die verschiedene Einstellungen wie Farbskala oder Temperaturbereich vorgenommen werden können. Auf die gemessenen Daten kann auf diversen Wegen zugegriffen werden, wobei im Weiteren die Programmierschnittstelle per IPC (Inter Process Communication) verwendet wurde. In diesem Fall muss die mitgelieferte Software durchgehend im Hintergrund gestartet sein und die Bildwiederholrate passt sich der des Monitors an. Über diese Schnittstelle kann je nach Einstellung in der Software entweder das aufgenommene Bild mit entsprechender Farbskala oder die Temperaturwerte der einzelnen Pixel abgefragt werden. Die Temperaturwerte müssen noch nach der Formel  $T[^{\circ}\text{C}] = (value - 1000) / 10$  umgerechnet werden. Alle in diesem Kapitel vorhandenen Abbildungen verwenden die nicht umgerechneten Werte der Kamera. Hierbei variieren jedoch die Werte etwas zwischen den Messpunkten, was in Abbildung 5.1 durch die Einfärbung entsprechend der Temperatur visualisiert wird. Grundsätzlich ist die Temperatur laut Messung mit dieser Infrarot-Kamera im rechten oberen Bereich minimal höher und im linken unteren Bereich tendentiell am kühleren - auch wenn nur eine gleichmäßige Fläche aufgenommen wird.

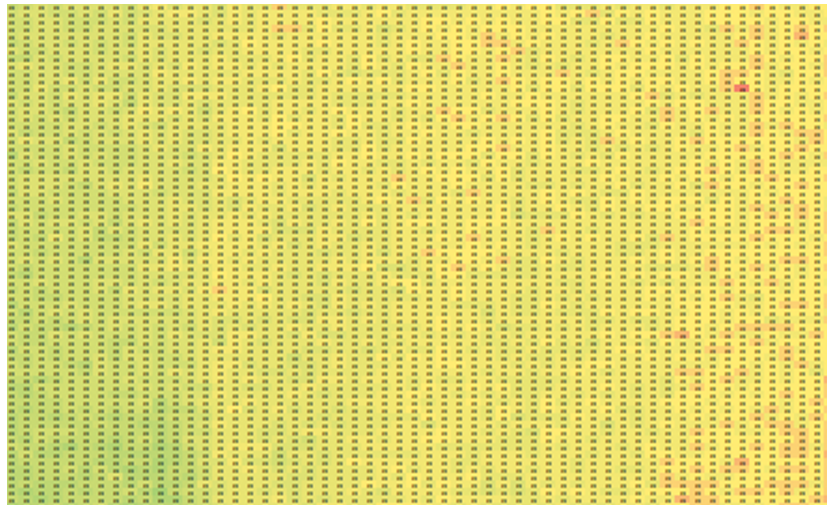


Abbildung 5.1: Messungenauigkeiten

### 5.1.2 Projektor

Als Projektor kam ein *Acer K335*<sup>1</sup> zum Einsatz. Dieser bietet eine Auflösung von 1280x800 Pixel, eine Helligkeit von 1000 Lumen sowie ein Kontrastverhältnis von 10000:1. Weiterhin erlaubt die Firmware die horizontale und vertikale Spiegelung des Ausgabebildes.

### 5.1.3 Personal Computer

Alle Berechnungen wurden auf einem handelsüblichen Computer durchgeführt. Dieser verfügt über einen Intel Core 2 Quad Q9550-Prozessor mit 2.83 GHz, eine NVIDIA Quadro NVS 290-Grafikkarte sowie 8 GB Arbeitsspeicher. Als Betriebssystem wurde Windows 7 eingesetzt.

### 5.1.4 Tiefenbild-Kamera

Als Tiefenbild-Kamera wurde eine handelsübliche Microsoft Kinect<sup>2</sup> der ersten Generation (für die XBOX360) eingesetzt. Diese bietet neben einer Tiefenbild-Kamera zusätzlich eine RGB-Kamera und ein Mikrofon, was eine Vielzahl an verschiedenen Möglichkeiten eröffnet[Zha12].

<sup>1</sup><http://www.acer.de/ac/de/DE/content/professional-model/MR.JG711.002s>

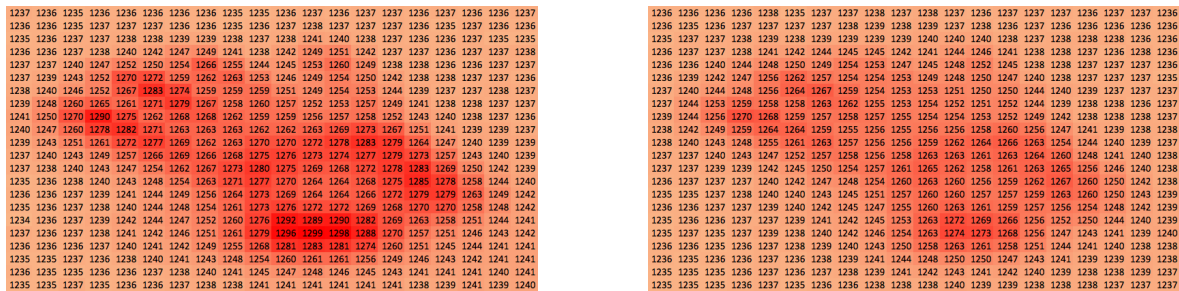
<sup>2</sup><http://www.xbox.com/kinect>

Nachdem die Grundlagen der Infrarot-Kamera bereits in Kapitel 2 genauer erläutert wurden, werden basierend darauf im Folgenden drei Algorithmen unterschiedlicher Komplexität, Geschwindigkeit und Fehlertoleranz entwickelt.

## 5.2 Algorithmus 1 - Hottest Point

Da die Interaktion mit dem Vorhang diesen erwärmt ist liegt es nahe die berührte Stelle (im Folgenden als Touch-Event bezeichnet) über den wärmsten Punkt zu erkennen. Dieser *Hottest Point*-Algorithmus ist sehr einfach zu implementieren.

Der triviale Ansatz ist, den von der Infrarot-Kamera gelieferten Werte-Array einmal zu durchlaufen und den wärmsten Punkt im Speicher zu halten. Diese Stelle ist dann als mögliches Touch-Event zu behandeln.



(a) Array während Interaktion

(b) Array nach Interaktion

Abbildung 5.2: Daten der Infrarot-Kamera (*Hottest Point*-Algorithmus)

Da die Temperatur aber offensichtlicher Weise nicht über den kompletten Ausschnitt konstant den gleichen Wert hat sondern über den Bildausschnitt etwas variiert (vgl. 5.1 kann nicht einfach nur der wärmste Punkt erkannt und verarbeitet werden, da ansonsten zu jedem Zeitpunkt ein Touch-Event erkannt werden würde.

Entsprechend muss der Algorithmus bei der Unterscheidung zwischen gewollter Interaktion und Messungenauigkeit diese Gegebenheiten berücksichtigen und entsprechend angepasst werden.

Die Abbildung 5.2a zeigt einen Ausschnitt der übermittelten Daten in dem die einzelnen Messwerte entsprechend ihrer Temperatur eingefärbt wurden. Die wärmeren Bereiche sind hierbei rot mit zunehmender Sättigung gekennzeichnet. Im Moment der Aufnahme dieses Ausschnitts findet eine gewollte Interaktion mit dem Vorhang statt. Hierbei ist die Hand des Nutzers durch die eingefärbten Messwerten sehr gut zu erkennen. Eine gewollte Eingabe zeichnet sich dadurch aus, dass die Erwärmung des Punktes deutlich von ihrer jeweiligen Umgebung nach oben abweicht.

Diese Erwärmung kann genutzt werden um die Korrektheit einer erkannten Berührung zu überprüfen. Hierzu wird während der Suche des wärmsten Einzelpunktes gleichzeitig auch die Durchschnittstemperatur des Vorhangs ermittelt und anschließend verglichen. Bei Messungenauigkeiten liegt der wärmste Punkt nur geringfügig über der Durchschnittstemperatur und kann somit leicht verworfen werden. Eine gewollte Erwärmung sorgt dagegen für einen Temperaturanstieg der deutlich über dieser liegt.

Somit kann mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit eine richtige Aussage über den wärmsten Punkt getroffen werden. Diese Wahrscheinlichkeit lässt sich durch Erhöhung des Schwellenwertes, d.h. der Temperaturdifferenz zwischen wärmstem Punkt und Durchschnittstemperatur, steigern ab welchem das System ein Touch-Event auslöst. Gleichzeitig steigt somit jedoch die Reaktionszeit, da der Vorhang stärker erwärmt werden muss bis diese Bedingung erfüllt wird. Einen jederzeit passenden Schwellenwert zu finden gestaltet sich als schwierig, da dieser von externen Einflüssen, wie der Umgebungstemperatur, abhängt. In der durchgeführten Nutzerstudie lag dieser Schwellenwert bei 2.5 °C (vgl. Kapitel 6).

Ein weiteres Problem ist die Abkühlzeit. Dem typischen Nutzerverhalten entspricht es auf eine Reaktion des Systems zu warten bevor die Interaktion beendet wird. Dadurch, dass der Vorhang weiter erwärmt wird bis der Nutzer die Reaktion wahrnimmt und seine Hand vom Vorhang entfernt, steigt die Temperatur an der betroffenen Stelle nochmals etwas weiter. Somit wird der Schwellenwert um einiges überschritten.

Abbildung 5.2b zeigt erneut den gleichen Bildausschnitt nachdem die Interaktion bereits kurze Zeit beendet wurde. Der Vorhang wird somit zu diesem Zeitpunkt zwar nicht mehr weiter erwärmt, ist aber auch bei Weitem noch nicht wieder auf die durchschnittliche Temperatur abgekühlt. Da die aktuellen Werte vielfach in jeder Sekunde ausgewertet werden würde dieses "Nachglühen" des Vorhangs zu mehreren ungewollten Touch-Events führen.

Um diesem entgegenzuwirken kann entweder nach jeder Aktion die Interaktion für einen kurzen Zeitraum gesperrt werden, was aber das System in der Wahrnehmung deutlich verlangsamt. Daher wird lediglich die Position des letzten Touch-Events kurzzeitig gesperrt und die restliche Interaktionsfläche bleibt reaktiv, jedoch muss bei kurz hintereinander ausgeführten Interaktionen die Temperatur der vorigen übertroffen werden was die Reaktionszeit verlängert.

Dieser Algorithmus ist zwar sehr simpel zu implementieren aber er hat einen gravierenden Nachteil. Wenn an einer Stelle im Messbereich ein dauerhaft warmer Gegenstand oder Fläche sichtbar ist, so sorgt dieser immer für den wärmsten Punkt. Dies kann beispielsweise durch einen Heizkörper oder eine Wasserleitung verursacht werden.

Somit existieren für die Umgebung verschiedene Fälle die sich auf diesen Algorithmus wie folgt auswirken würden:

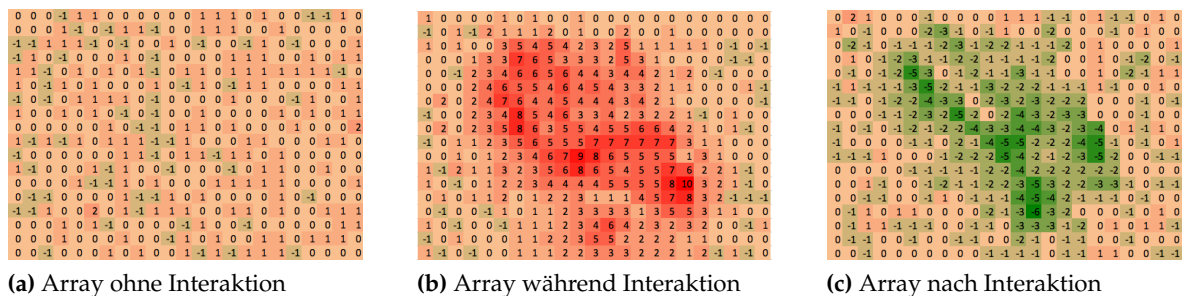
- **Gegenstand ist wärmer und befindet sich am Rand** - Es befindet sich ein warmer Gegenstand im Bildbereich aber außerhalb des Interaktionsbereichs und dessen Temperatur kann durch den Nutzer "überstimmt" werden. Hierbei entstehen zwar häufiger Fehleingaben die aber keine Aktion auslösen, da an der erkannten Stelle keine Interaktion möglich ist. Somit ist das System weiterhin bedienbar aber die Reaktionszeit wird deutlich schlechter da eine überdurchschnittliche Erwärmung stattfinden muss.
- **Gegenstand ist wärmer und befindet sich im Interaktionsbereich** - Sollte der Gegenstand im Interaktionsbereich liegen so wird immer wenn keine Aktion durch den Nutzer stattfindet an dieser Stelle ein Touch-Event ausgelöst. Da sich hier ein Interaktionselement befindet wird dieses betätigt. Somit ist keine bewusste Interaktion möglich, da beispielsweise pausenlos ein Lied gestartet und sofort wieder gestoppt wird oder eine betretene Applikation sofort wieder verlassen wird. Allerdings ist es unwahrscheinlich, dass ein warmes Wasserrohr innerhalb des Interaktionsbereichs vorkommt, weshalb dieser Fall vernachlässigt werden kann.
- **Gegenstand ist deutlich wärmer** - Falls dieser Gegenstand deutlich wärmer als der restliche Messbereich ist wird es unmöglich den Vorhang auf das gleiche Niveau zu erwärmen. Eine Interaktion mit dem System ist somit nicht mehr möglich.

Ein weiterer Nachteil dieses Algorithmus ist es, dass ein Wassertropfen den Schwellenwert übertreffen könnte und somit ein Touch-Event auslösen würde. Auch kann das unterschiedliche Reaktionsverhalten zwischen erneuter Interaktion an der gleichen Stelle und der Interaktion an einer anderen Stelle für Verwirrung sorgen.

### 5.3 Algorithmus 2 - Fastest Changing Area

Auf Grund der Limitierungen von Algorithmus 1 wurde ein weiterer Algorithmus entwickelt der diese Nachteile ausgleichen soll. Der größte Nachteil des *Hottest Point*-Algorithmus ist die Gefahr eines dauerhaft warmen Punktes im Bild. Der erweiterte Algorithmus dieses Problem vermeiden und darf daher nicht auf der maximalen Temperatur basieren. Ebenfalls ist es wünschenswert, dass auch das Verhalten für den Nutzer nachvollziehbarer wird und somit an jeder Stelle das gleiche Reaktionsverhalten zeigt.

Da sich der Vorhang durch Berührung erwärmt lässt sich das "Nachglühen" nach der Berührung nicht verhindern, da ohne Erwärmung schlicht keine Interaktion möglich wäre. Bei genauerer Betrachtung betrifft die Erwärmung nur eine geringe Fläche während der Großteil des Wertebereichs seine Temperatur beibehält. Um diese Erwärmung sichtbar zu machen kann man das Konzept der *Bradski2008* nutzen. Dieses Konzept basiert auf dem Vergleich von Bildern oder Werten zu verschiedenen Zeitpunkten. Im einfachsten Fall werden schlicht zwei verschiedene Bilder oder Werte verglichen. Unter Laborbedingungen und ohne Messfehler würde ein solcher Vergleich zwischen einem Zeitpunkt  $t_1$  ohne Nutzerinteraktion und einem Zeitpunkt  $t_2$  mit Nutzerinteraktion lediglich im Bereich der Berührung Werte ungleich 0 beinhalten. Dieses Verhalten wird in Abbildung 5.3a mit realen Messwerten veranschaulicht.



**Abbildung 5.3:** Daten der Infrarot-Kamera (*Fastest Changing Area*-Algorithmus)

Zu sehen sind in Abbildung 5.3a die Messdaten der Infrarot-Kamera ohne Nutzerinteraktion. Hierbei werden die einzelnen Felder des Arrays mit entsprechender Intensität bei Erwärmung rot und bei Abkühlung grün eingefärbt. Auf Grund von Messfehlern weichen die Werte gering von dem Erwartungswert 0 ab, jedoch nur um maximal 0.2°C. Ein praktischer Effekt ist auch, dass sich so die in Abbildung 5.1 veranschaulichten Messfehler herausrechnen lassen und nur die einzelnen Messpunkte minimal schwanken, jedoch nicht die gesamte Messung.

In Abbildung 5.3b findet gerade eine Interaktion mit der Oberfläche statt, was sich deutlich bemerkbar macht. Es sind die groben Umrisse einer flachen Hand zu erkennen in denen die Werte bis zu 1°C wärmer wurden im Vergleich zur vorhergegangenen Messung. Außerhalb dieser Fläche bleiben die Messwerte unbeeinflusst.

Am deutlichsten tritt der Vorteil gegenüber dem *Hottest Point*-Algorithmus in Abbildung 5.3c zu Tage. Da die Interaktion bereits abgeschlossen wurde, d.h. der Nutzer seine Hand von der Oberfläche genommen hat, steigt die Temperatur nicht mehr weiter an, sondern nähert sich



wieder der Umgebungstemperatur an. Dies führt im Vergleich zur vorangegangenen Messung zu negativen Messwerten von bis zu  $0.6^{\circ}\text{C}$ . Da dieser Algorithmus jedoch nur positive Werte berücksichtigt wird diese Stelle nicht mehr als mögliche Interaktion erkannt. Ein Nachglühen findet somit in der Tat nicht statt und die gleiche Stelle muss nicht für längere Zeit gesperrt werden.

Allerdings wartet der Nutzer auf die grafische Bestätigung des Systems bevor die Interaktion beendet wird. Aus diesem Grund muss ebenfalls eine kurzzeitige Sperrung erfolgen um dem Nutzer genügend Zeit hierfür zu geben. Dieses Timeout kann jedoch bedeutend geringer gewählt werden als zuvor mit dem *Hottest Point*-Algorithmus.

Betrachtet man nun erneut die verschiedenen Fälle die ein dauerhaft warmer Gegenstand verursacht, so ergibt sich folgendes:

- **Gegenstand ist wärmer und befindet sich am Rand** - Dieser Gegenstand fällt nicht ins Gewicht, da sich die Temperatur nicht ändert. Dadurch existiert keine Veränderung zwischen  $t_1$  und  $t_2$  und somit wird kein Touch-Event erkannt und verarbeitet.
- **Gegenstand ist wärmer und befindet sich im Interaktionsbereich** - Wenn sich die Wärmequelle innerhalb des Interaktionsbereichs befindet, so gilt auch hier wie beim *Hottest Point*-Algorithmus, dass die Temperatur erst übertroffen werden muss, bevor eine positive Änderungsrate erreicht werden kann und somit ein Touch-Event erkannt wird. Dies sorgt für eine verzögerte Reaktion. Allerdings ist dieser Fall zu vernachlässigen, da im Interaktionsbereich üblicherweise keine Wärmequelle liegen kann. Dennoch wären in diesem Fall sind die Auswirkungen geringer als beim *Hottest Point*-Algorithmus, da keine dauerhaften Touch-Events entstehen können.
- **Gegenstand ist deutlich wärmer** - Da ein warmer Gegenstand nicht "überstimmt" werden muss ist dessen Temperatur nicht relevant, da die Differenz zwischen  $t_1$  und  $t_2$  nicht temperaturabhängig ist. Demnach wird an dieser Stelle kein Touch-Event registriert, allerdings ist an dieser Position auch keine Interaktion möglich.

Somit ist der *Fastest Changing Area*-Algorithmus in der Lage die Nachteile des ersten Algorithmus zu verhindern. Ein dauerhaft warmer Bereich wird schlichtweg ignoriert und ein "Nachglühen" findet nicht statt. Hierdurch verhält sich der Algorithmus transparenter, da die Reaktionszeit an jeder Position dieselbe ist. Insgesamt wird dieser Algorithmus somit auch schneller.

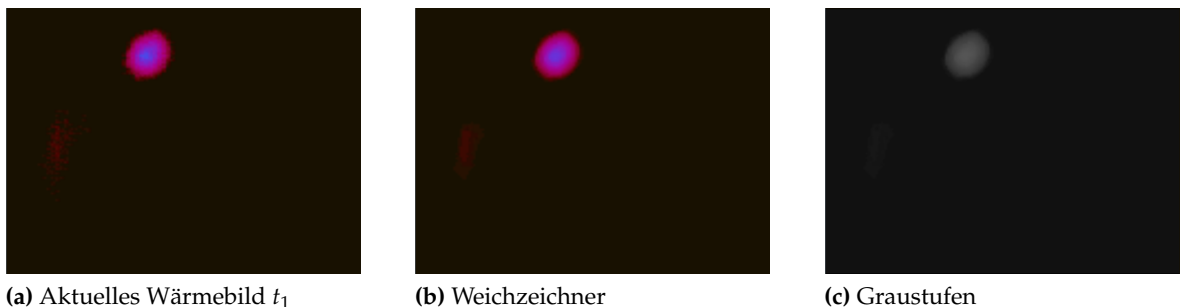
Durch diese Veränderungen wird die Erkennung reaktiver jedoch gleichzeitig auch störanfälliger für unabsichtliche Berührungen, da der Vorhang nicht so stark erwärmt werden muss. Somit ist zu erwarten, dass dieser *Fastest Changing Area*-Algorithmus durch Wassertropfen einfacher zu beeinflussen sein wird als der *Hottest Point*-Algorithmus und Fehleingaben häufiger werden.

## 5.4 Algorithmus 3 - Largest Area

Bei den beiden bisher entwickelten Algorithmen ist jeweils damit zu rechnen, dass einzelne Wassertropfen ein Touch-Event auslösen. Da das System aber auch bei laufendem Wasser zu bedienen sein soll wird im folgenden ein Algorithmus entwickelt, der vor solchen Fehleingaben möglichst befreit sein soll.

Bei genauerer Betrachtung der Wärmebilder (vgl. Abbildung 4.1) ist zu erkennen, dass gewollte Interaktion eine größere Fläche erwärmt. Dies ist vor allem bei der Interaktion durch die Duschbrause oder die Handfläche der Fall. Basierend darauf ist zu vermuten, dass einzelne Wassertropfen zwar den Vorhang erwärmen und damit sowohl den *Hottest Point*-Algorithmus als auch den *Fastest Changing Area*-Algorithmus auslösen, aber nicht soviel Fläche erwärmen können, wie dies bei gewollter Interaktion der Fall ist. Aus diesem Grund wird der folgende Algorithmus als *Largest Area*-Algorithmus bezeichnet. Um die externen Störeinflüsse möglichst gering zu halten wurde der Temperaturbereich so eingestellt, dass nur über der Durchschnittstemperatur liegende Gegenstände auf dem Wärmebild zu sehen sind.

Da sich dieser Algorithmus aus den Wärmebildern begründet so werden diese als Basis für die Analyse verwendet und nicht die gemessenen Werte. Hierfür bietet sich die C++-Bibliothek *OpenCV*[Bra00] an. Diese Bibliothek offeriert eine Vielzahl vorgefertigter Algorithmen zur Bildanalyse, welche für diesen Algorithmus zur Anwendung kommen.

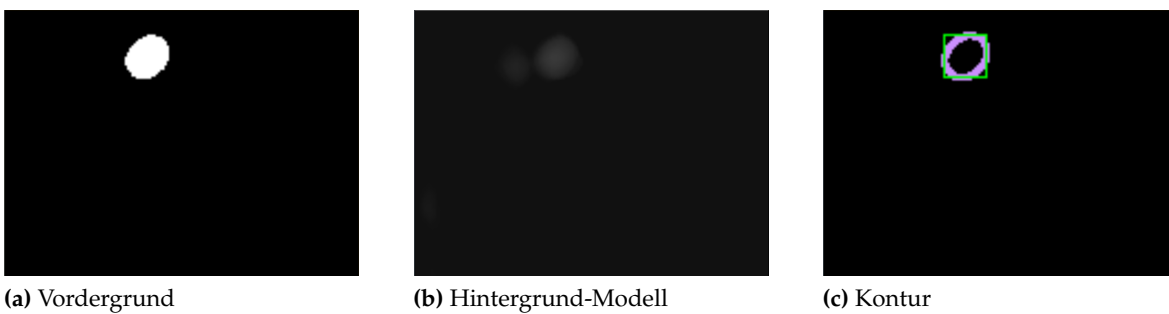


**Abbildung 5.4:** Schritte des *Largest Area*-Algorithmus (1/3)

In Abbildung 5.4a ist das zu analysierende Bild, d.h. die aktuelle Aufnahme der Infrarot-Kamera zum Zeitpunkt  $t_1$ , zu sehen. Im oberen Bereich befindet sich die tatsächlich gewollte Berührung, während die andere sichtbare Einfärbung für die Erkennung keine Rolle spielen soll. Als zweiten Schritt wird ein Median-Filter[BK08] eingesetzt um eventuell vorhandenen Ausreißer zu eliminieren (5.4b). Im dritten Schritt wird dieses Bild in Graustufen konvertiert (5.4c). Somit ist die Farbskala nicht weiter relevant sondern lediglich die Intensität.

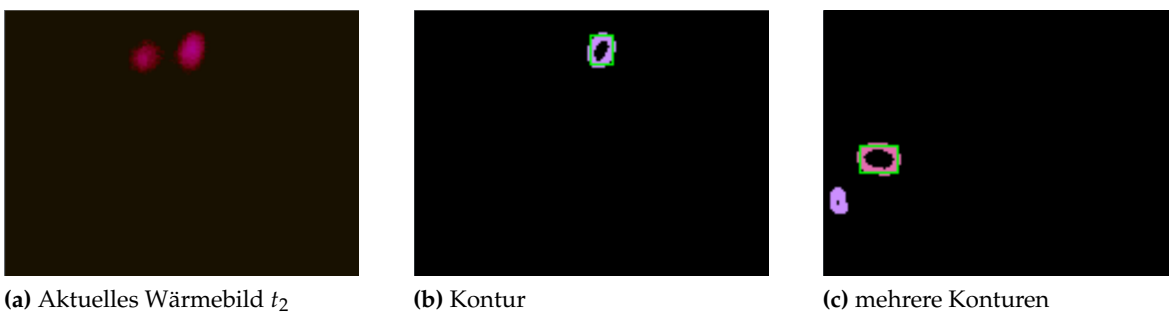
Da die *Background Subtraction* die Fehler des *Hottest Point*-Algorithmus verhindert wird diese erneut eingesetzt. Hierbei wird ein etwas erweiterter Ansatz gewählt der aktuelle Bilder stärker wertet als ältere und somit mehr als nur zwei Zustände vergleicht. Um dies zu gewährleisten wird ein Modell des Hintergrundes vorgehalten was mit jedem neuen Bild

angepasst wird. Initial ist das erste analysierte Bild gleichzeitig der Hintergrund und verblasst dann zunehmend, da dieses im Vergleich zu den neueren Bildern weniger stark gewichtet wird und nach einiger Zeit nicht mehr beachtet wird. Dieses Hintergrund-Modell ist in Abbildung 5.5b abgebildet. Gut zu sehen ist, dass in diesem Modell die aktuelle Position bereits stark hervorgetreten ist, sich aber auch noch ein verblasstes Abbild der vorigen Berührung links davon befindet. Dieses Hintergrund-Modell wird für jedes neue Bild als Referenz genutzt und entsprechend dem *Hottest Point*-Algorithmus vom aktuellen Zustand subtrahiert. Das entstehende Bild wird nochmals gegen geringe Schwankungen gefiltert indem gegen einen Schwellenwert verglichen wird. Dadurch entsteht ein Schwarz-Weiß-Bild in dem die weißen Anteile dem Vordergrund entsprechen.



**Abbildung 5.5:** Schritte des *Largest Area*-Algorithmus (2/3)

In Abbildung 5.5a) ist von dem ursprünglichen Bild lediglich die gewollte Interaktion übrig geblieben, während die externen Einflüsse eliminiert wurden. Abschließend wird die Kontur der Fläche dieses Vordergrundes bestimmt und der Mittelpunkt dieser als Interaktionsposition festgelegt.



**Abbildung 5.6:** Schritte des *Largest Area*-Algorithmus (3/3)

Abbildung 5.6a visualisiert das zu analysierende Bild zum Zeitpunkt  $t_2$ . In diesem Moment existieren zwei verschiedene Regionen die über der Durchschnittstemperatur liegen und entsprechend deutlich sichtbar sind. Durch das Hintergrund-Modell ist die linke Interaktion jedoch als älter erkennbar und das System erkennt lediglich die rechte Region als Vordergrund und somit als Touch-Event (vgl. Abbildung 5.6b).

Zu diesem Zeitpunkt würden aber auch einzelne Wassertropfen als Vordergrund erkannt werden, sofern die Temperatur hoch genug ist. Entsprechend der ursprünglichen Beobachtung ist jedoch die Fläche dieser kleiner als bei einer gewollten Interaktion und somit müssen noch zwei weitere Anpassungen vorgenommen werden.

Wie Abbildung 5.6b veranschaulicht können mehrere Bereiche als Vordergrund erkannt werden. Um den wahrscheinlichsten Punkt zu finden wird die größte Fläche zur Erkennung verwendet was in den Abbildungen durch das grüne Rechteck gekennzeichnet ist. Diese Anpassung funktioniert jedoch nur, wenn eine Interaktion zu diesem Zeitpunkt statt findet. Sollte dies nicht der Fall sein, so würde auch eine kleine Fläche ausreichen um ein Touch-Event auszulösen und somit Wassertropfen hierfür ausreichen. Um dies zu verhindern wurde eine zusätzliche Einschränkung eingeführt, dass die Fläche eine gewisse Größe besitzen muss um als gewollte Interaktion zu gelten.

Auch für diesen Algorithmus werden wieder die verschiedenen Fälle, die ein dauerhaft warmer Gegenstand verursacht, genauer betrachtet:

- **Gegenstand ist wärmer und befindet sich am Rand** - Durch die Vorder- und Hintergrundtrennung ist ein solcher Gegenstand eindeutig dem Hintergrund zuzuordnen und stört die Erkennung nicht.
- **Gegenstand ist wärmer und befindet sich im Interaktionsbereich** - In diesem Fall verändert sich die Problematik nicht gegenüber den vorigen Algorithmen. Auch wenn dieser Punkt nicht im Vordergrund auftaucht, so ist die Temperatur in dieser Region dennoch vorhanden und muss übertroffen werden um im initialen Wärmebild eine Veränderung hervorzurufen. Erneut beeinflusst dieser Fall jedoch nicht die Interaktion in den anderen Regionen.
- **Gegenstand ist deutlich wärmer** - Da ein warmer Gegenstand nicht "überstimmt" werden muss ist dessen Temperatur nicht relevant, da die Differenz zwischen  $t_1$  und  $t_2$  nicht temperaturabhängig ist. Demnach wird an dieser Stelle kein Touch-Event registriert. Es ist aber wie beim *Fastest Changing Area*-Algorithmus nicht möglich an dieser Stelle zu interagieren.

Dieser *Largest Area*-Algorithmus ist somit gegenüber der Umgebung sehr robust, ebenfalls gegenüber unkontrollierten Erwärmungen der Oberfläche.

Der Nachteil des Hintergrund-Modells liegt darin, dass wenn die Erwärmung zu lange dauert diese bereits in dieses aufgenommen wird und es somit kaum möglich wird den Schwellenwert zu erreichen. Für den Nutzer ist dieses Verhalten nicht zu erkennen und somit völlig unvorhersehbar. Insbesondere problematisch wird dies, sofern die Handtemperatur nur geringfügig höher ist als die der Oberfläche, da somit die Erwärmung deutlich länger dauert.

Insgesamt wird von diesem Algorithmus die geringste Anzahl an Fehleingaben, jedoch auch die geringste Reaktionsgeschwindigkeit erwartet.

## 5.5 Grafische Oberfläche und Anwendungen

Um dem Nutzer eine Vorstellung zu vermitteln wie ein solches System aussehen könnte wurde eine grafische Oberfläche entwickelt, die den Wünschen der Teilnehmer der Online-Umfrage Rechnung trägt und die entsprechenden Applikationen implementiert.

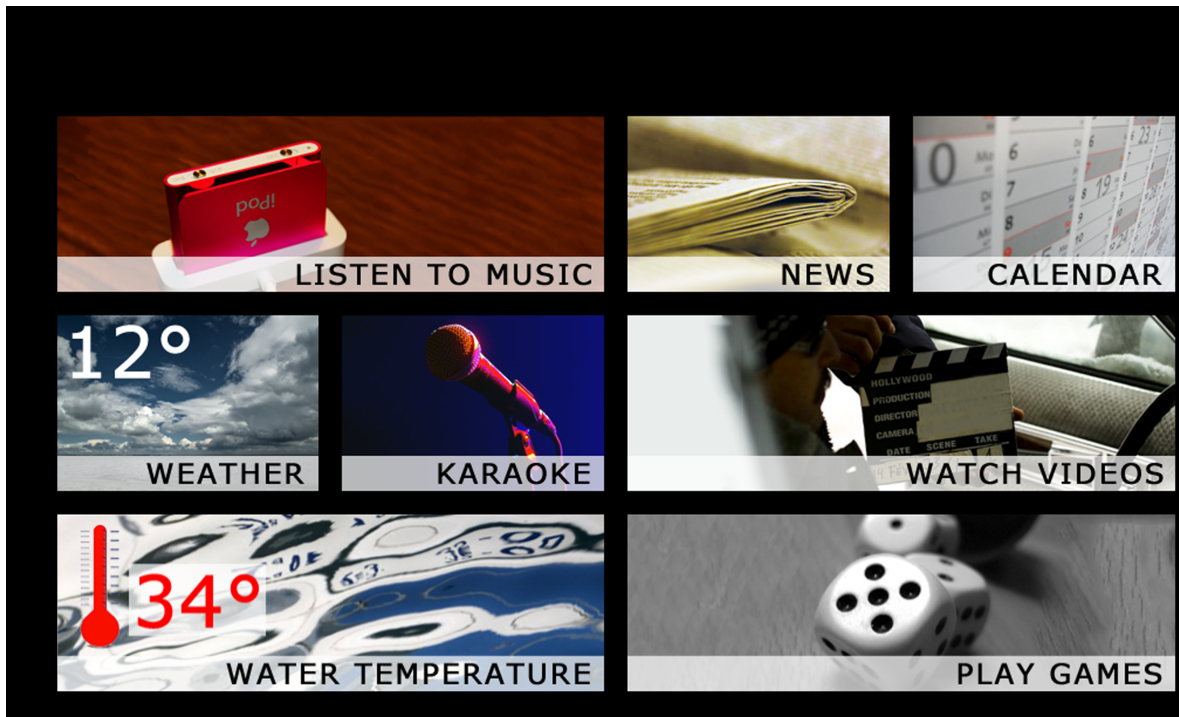


Abbildung 5.7: Hauptmenü

In Abbildung 5.7 ist die Einstiegsseite in die Nutzeroberfläche zu sehen. Entsprechend der Priorisierung der Anwendungsfälle (vgl. Kapitel 3) wurden die Schaltflächen für *Musik* und *Videos* am größten gestaltet. Ebenfalls eine große Kachel erhielt die Schaltfläche *Spiele*, da diese für den Vergleich der Algorithmen genutzt wird. Zu guter Letzt wurde noch ein Mock-Up, hier eine statische Wassertemperatur, eingeführt was mögliche Smart-Home-Funktionen symbolisieren soll. Alle anderen Schaltflächen sind jedoch funktionell und bieten die folgenden Funktionen:

- **Musik** Die Musikapplikation besteht aus einer einfachen Oberfläche welche das CD-Cover und übliche Informationen (Titel, Interpret, vergangene Zeit, Titellänge) des aktuellen Titels anzeigt. Über die unteren Schaltflächen kann der Titel gewechselt oder die Wiedergabe angehalten werden.
- **Nachrichten** Diese Applikation bietet einen kurzen Auszug aus verschiedenen Schlagzeilen mit kurzer Einleitung und der jeweiligen Quellenangabe.



Abbildung 5.8: Applikationen - Teil 1

- **Kalender** In der Kalenderapplikation werden die Termine des Anwenders für den aktuellen Tag angezeigt.
- **Wetter** Unter diesem Menüpunkt findet der Anwender die Wettervorhersage für den aktuellen und drei weitere Tage. Dieses wird wie gewohnt nach Tageszeiten aufgeteilt.
- **Karaoke** Da laut einer Studie von JBL singen 58% der Deutschen unter der Dusche. Grund genug dies durch eine Applikation zu unterstützen, welche Musikvideos mit Liedtexten anzeigt. In diesem Prototyp wurden dazu entsprechende YouTube-Videos genutzt. Die Bedienung erfolgt äquivalent zur Musikapplikation.
- **Videos** In dieser Anwendung kann der Nutzer zwischen Musikvideos und Kinotrailern auswählen. Diese stammen wie die Karaoke-Videos von YouTube.
- **Spiele** Unter diesem Menüpunkt findet sich ein einfaches *Whack-A-Mole*-Spiel, in welchem immer der Maulwurf berührt werden muss. Wurde dieser erwischt gewinnt der Anwender einen Punkt hinzu, andernfalls verliert er einen. Hierbei werden zufällig zwischen einem und drei Maulwürfe eingeblendet.

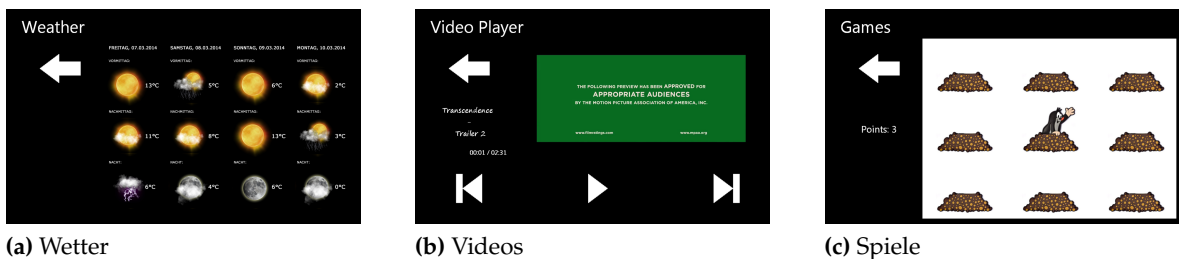


Abbildung 5.9: Applikationen - Teil 2

## 5.6 Multi-Touch

Mittlerweile verfügen fast alle Smartphones und Tablets über die Möglichkeit mehrere Finger gleichzeitig zu verwenden. Diese Möglichkeit besteht auch bei der Nutzung einer Infrarot-Kamera und ist prinzipiell einfach zu implementieren. Auf Grund der Größe der Oberfläche und den Messungenauigkeiten können einzelne Finger jedoch nicht zuverlässig erkannt werden. Anders verhält es sich wenn zwei (oder mehr) Hände gleichzeitig den Vorhang berühren.

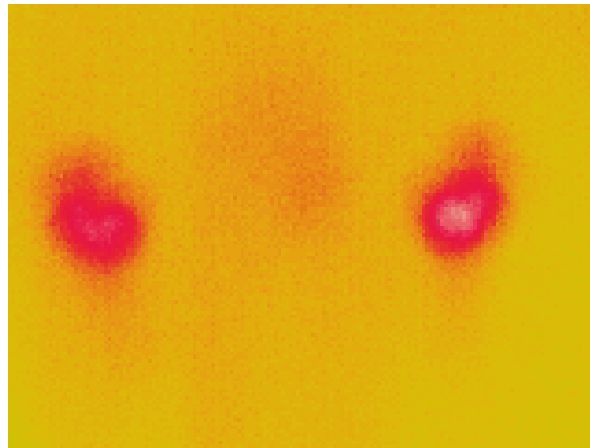


Abbildung 5.10: Multi-Touch

Hierbei müssen die Algorithmen *Hottest Point* und *Fastest Changing Area* lediglich auch noch nach der zweitgrößten Stelle suchen, der *Largest Area*-Algorithmus nach der zweitgrößten Fläche. Hierbei gibt es prinzipiell keine Beschränkung in der Anzahl der erkennbaren Punkte, solange sich diese in ausreichendem Abstand zueinander befinden. Dies ist nötig um zu verhindern, dass von einer Hand erwärmte Punkte als zwei verschiedene Interaktionen erkannt werden. Das auch einfache Gesten, wie Pinch-to-Zoom, relativ einfach erkennbar sind wurde beispielsweise von Shirazi et. al.[SAH<sup>+</sup>14] gezeigt. Hierbei muss lediglich der Abstand zwischen den erkannten Punkten über mehrere Messungen verglichen werden.





## 6 Nutzerstudie

Um das System vorzustellen und die Algorithmen zu vergleichen und zu bewerten wurde eine Nutzerstudie durchgeführt. Diese wird im folgenden Abschnitt vorgestellt und ausgewertet.

### 6.1 Aufbau und Durchführung

Um die Nutzerstudie an einem zentralen Ort durchführen zu können der genug Platz bietet wurde eine nicht benötigte Duschzelle der Universitätssporthalle genutzt und der Vorhang, wie in Abbildung 6.1 gezeigt, aufgehängt. Hinter dem Vorhang standen dem Probanden ca.  $1.5m^2$  zur Verfügung. Die Interaktionsfläche ( $0.90m$  auf  $0.60m$ ) lag zwischen  $1.20m$  und  $1.80m$ .

Da sowohl das System und dessen Nutzen als auch die Erkennungsalgorithmen bewertet werden sollten wurde die Studie aufgeteilt. Zunächst wurde jedem Proband der Zweck und Ablauf der Studie erklärt. Weiterhin erhielten alle den Hinweis, dass das System auf Wärme reagiert und das Wasser durchgehend laufen muss. Entsprechend wurden die Probanden gebeten die Wassertemperatur auf eine ihnen angenehme Temperatur zu stellen, jedoch mit der Einschränkung, dass diese von der Raumtemperatur nach oben abweichen muss. Anschließend wurde das System gestartet und der Proband angewiesen bestimmte Aktionen auszuführen, beispielsweise *Öffne den Musikspieler* gefolgt von *Starte die Wiedergabe* (vgl. Anhang A.2.2), um das System kennenzulernen und sich an den jeweiligen Algorithmus zu gewöhnen. Die abschließende Anweisung lautete den Spielmodus (*Whack-A-Mole*) zu starten und in einer Minute möglichst viele Punkte zu erzielen. Um gleiche Bedingungen zu schaffen wurde die Anzahl der Maulwürfe auf genau einen Maulwurf reduziert, so dass lediglich die Verteilung zufällig war.

Nach dieser Minute wurde der Proband gebeten den Spielmodus zu verlassen und einen Fragebogen (vgl. Anhang A.3.1) zu beantworten. Dieses Verfahren wurde für jeden der drei Algorithmen durchgeführt und anschließend ein freies Interview geführt. Um Einflüsse von Lerneffekten, Wasser oder Raumtemperatur zu vermeiden oder zumindest zu verringern wurden die Algorithmen nach dem Prinzip des *Counterbalancing* gewechselt. Hierbei wurde darauf geachtet, dass jede der Kombinationen gleich häufig getestet wurde.

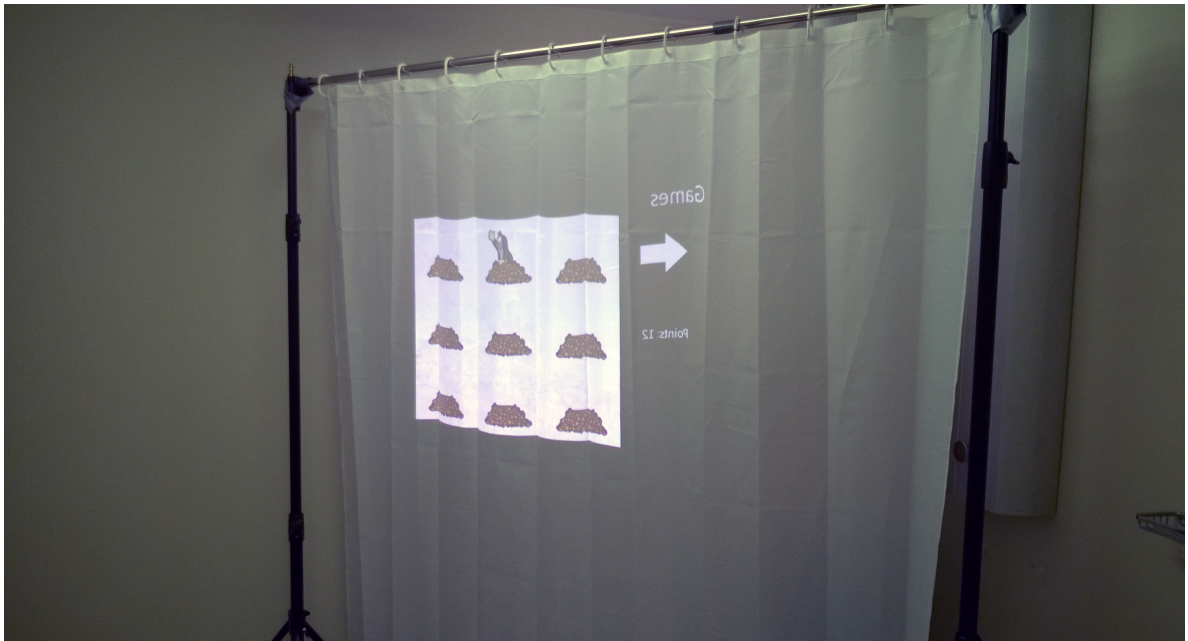


Abbildung 6.1: Studienaufbau

## 6.2 Auswertung

Die Auswertung der Studie erfolgt gemäß der Empfehlungen von Field und Hole[FH11].

### 6.2.1 Probanden

An der durchgeführten Nutzerstudie nahmen 12 Probanden (11m/1w) im Alter zwischen 19 und 28 Jahren ( $M = 23.5$ ,  $SD = 2.84$ ) teil. Auf Grund der örtlichen Gegebenheiten nahmen an dieser Studie zum großen Teil aktuelle Studenten teil, welche über Mailing-Listen gefunden wurden.

### 6.2.2 Statistische Auswertungen

#### Reaktivität

Wie einleitend aufgeführt sollten die entwickelten Algorithmen verglichen werden. Hierzu wurde zunächst die Anzahl der erreichten Punkte im *Whack-A-Mole*-Spiel betrachtet. Hierbei zeigte sich, dass der *Fastest Changing Area*-Algorithmus die besten Ergebnisse ermöglicht hatte ( $M_{FCA} = 23.8$ ,  $SD_{FCA} = 8.9$ ). Eine etwas geringere Punktzahl erreichten die Probanden mit dem *Hottest Point*-Algorithmus ( $M_{HP} = 22.6$ ,  $SD_{HP} = 5.9$ ). Der *Largest Area*-Algorithmus konnte hierbei nicht überzeugen und ermöglichte nur deutlich geringere Punktzahlen ( $M_{LA} =$

12.4,  $SD_{LA} = 4.7$ ). Eine Varianzanalyse mit Messwiederholungen (ANOVA) zeigt, dass diese Unterschiede statistisch signifikant sind ( $F(2, 22) = 10.397, p = .001$ ). Eine abschließend durchgeführter *Bonferroni-Korrektur* zeigt, dass zwischen *Fastest Changing Area* und *Hottest Point* kein signifikanten Unterschied besteht, jedoch der *Largest Area*-Algorithmus statistisch signifikant schlechter ist.

Weiterhin wurde die Zeit zwischen Punkten gespeichert, was ebenfalls als Maß für die Reaktivität des Algorithmus gewertet werden kann. Wiederrum ergibt sich die gleiche Platzierung. *Hottest Point* ( $M_{HP} = 2.81, SD_{HP} = 0.99$ ) ist minimal schlechter als *Fastest Changing Area* ( $M_{FCA} = 2.73, SD_{FCA} = 1.01$ ). Erneut schneidet der bildbasierte Algorithmus am schlechtesten ab und benötigt die meiste Zeit bis eine Interaktion erkannt wird ( $M_{LA} = 5.3, SD_{LA} = 2.26$ ). Eine Varianzanalyse mit Messwiederholungen (ANOVA) zeigt, dass diese Unterschiede statistisch signifikant sind ( $F(2, 22) = 9.722, p = .001$ ). Eine abschließend durchgeführte *Bonferroni-Korrektur* bestätigt die obigen Ergebnisse nach denen Algorithmus 3 statistisch signifikant schlechter ist.

### Fehleranfälligkeit

Da jedoch die Reaktionsgeschwindigkeit alleine kein Maß für die Güte eines Algorithmus sein sollte wird im Folgenden die Fehleranzahl, d.h. in diesem Fall die Anzahl erkannter Interaktionen ohne einen Maulwurf zu treffen, überprüft. Dies kann entweder ein Fehler des Probanden sein oder eine falsch erkannte Interaktion. Es zeigt sich, dass der *Hottest Point*-Algorithmus die wenigsten Fehler verursacht ( $M_{HP} = 1.08, SD_{HP} = 1.4$ ). Eine etwas höhere Fehlerrate ergibt sich mit dem *Fastest Changing Area*-Algorithmus ( $M_{FCA} = 1.92, SD_{FCA} = 3.26$ ). Erneut am schlechtesten schnitt der *Largest Area*-Algorithmus ab ( $M_{LA} = 2.67, SD_{LA} = 2.06$ ) Eine Varianzanalyse mit Messwiederholungen (ANOVA) zeigt jedoch, dass diese Unterschiede nicht statistisch signifikant sind ( $F(2, 22) = 1.674, p = .211$ ).

### Nutzerbewertung

Als zweiter wichtiger Punkt der Studie wurde die Meinung der Probanden gefragt. Nach jedem Durchgang wurden diese gebeten drei Fragen zu beantworten. Die erste Frage betraf die allgemeine Interaktion mit dem momentan getesteten Algorithmus. Hierbei ergaben sich die folgenden Ergebnisse: Der *Hottest Point*-Algorithmus und der *Fastest Changing Area*-Algorithmus liegen nahezu gleichauf in der Gunst der Probanden ( $Med_{HP} = 4, SD_{HP} = 0.5, Med_{FCA} = 4, SD_{FCA} = 0.9$ ), während der bildbasierte dritte Algorithmus erneut am schlechtesten abschneidet ( $Med_{LA} = 3, SD_{LA} = 1.3$ ). Eine Friedman-ANOVA zeigt, dass diese Unterschiede statistisch signifikant sind ( $\chi^2(2) = 11.200, p = 0.004$ ). Ein abschließend durchgeführter Wilcoxon-Test vergleicht paarweise die verschiedenen Algorithmen und zeigt, dass der *Largest Area*-Algorithmus statistisch signifikant schlechter ist, sowohl gegenüber dem *Hottest Point*-Algorithmus ( $Z = -2.642, p = .024$ ) als auch im Vergleich zu *Fastest Changing Area* ( $Z = -2.599, p = .027$ ).

Anschließend wurden die Probanden gebeten die Reaktivität gesondert zu bewerten. Hierbei ergibt sich dasselbe Bild wie bei der Gesamtbewertung der Interaktion ( $Med_{HP} = 4$ ,  $SD_{HP} = 0.7$ ,  $Med_{FCA} = 4$ ,  $SD_{FCA} = 1.2$ ,  $Med_{LA} = 2$ ,  $SD_{LA} = 0.9$ ). Eine Friedman-ANOVA bestätigt diese Unterschiede als statistisch signifikant ( $\chi^2(2) = 15.116$ ,  $p = 0.001$ ). Auch in diesem Fall ist der dritte Algorithmus laut Wilcoxon-Test statistisch signifikant schlechter bewertet als *Hottest Point*-Algorithmus ( $Z = -2.846$ ,  $p = .012$ ) als auch im Vergleich zu *Fastest Changing Area* ( $Z = -2.842$ ,  $p = .012$ ).

Die dritte Frage bezog sich auf die Robustheit der Algorithmen und forderte die Probanden auf die Anzahl der bemerkten Fehler zu bewerten, d.h. in diesem Fall Reaktionen des Systems ohne stattfindende Interaktion. Die allermeisten Probanden konnten keine ungewollten Reaktionen erkennen ( $Med_{HP} = 1$ ,  $SD_{HP} = 0.0$ ,  $Med_{FCA} = 1$ ,  $SD_{FCA} = 0.45$ ,  $Med_{LA} = 1$ ,  $SD_{LA} = 0.0$ ). Jedoch sind diese Unterschiede nicht statistisch signifikant wie eine Friedman-ANOVA belegt ( $\chi^2(2) = 6.000$ ,  $p = 0.050$ ).

### Abschlussfragebogen

Das zweite Ziel der Nutzerstudie sollte die Akzeptanz eines solchen Systems bzw. der notwendigen Komponenten evaluieren. Hierzu wurden den Probanden nach Abschluss der Algorithmen-Tests einige weitere Fragen gestellt. Hierbei stellte sich heraus, dass die Probanden insgesamt leicht zum Kauf eines solchen Systems für den eigenen Gebrauch tendieren ( $Med = 3.5$ ,  $SD = 1.42$ ). Hierbei nannten mehrere der skeptischen Probanden jedoch den erwarteten Preis für die einzelnen Komponenten auf Nachfrage als Hintergrund für die zurückhaltende Antwort, vermutlich bedingt durch den technischen Hintergrund der meisten Probanden. Sollte der Preis vertretbar sein würden diese ihre Meinung wohl ändern. Da die Reaktionszeiten der Erkennungsalgorithmen durchschnittlich signifikant erhöht sind im Vergleich zu alltäglichen Systemen wie Smartphones ist interessant inwiefern sich dies auf den Nutzer auswirkt. Überraschenderweise fühlten sich dennoch 75 % nicht davon frustriert ( $Med = 2.5$ ,  $SD = 1.31$ ) und gestehen so einem System mehr Reaktionszeit zu als dies bei Smartphones der Fall wäre.

### 6.2.3 Qualitatives Feedback

Auf Grund des *Proof-Of-Concept*-Charakters der Studie sollte den Probanden die Möglichkeit gegeben werden ihre Gedanken und Ideen genauer mitzuteilen als dies mit Punkteskalen möglich gewesen wäre. Aus diesem Grund wurden nacheinander verschiedene Stichpunkte (vgl. Anhang A.3.3) angesprochen auf die frei geantwortet werden konnte. Der Großteil der Probanden bezeichnete das System positiv als *cool* (P1, P2, P3), *interessant* (P6, P10), *neu* und *innovativ* (P4, P6, P9, P11) welches für Spaß sorgt (P2, P4, P6, P7, P8, P10) und einen *Haben-Will*-Effekt auslöst (P7). Jedoch fragt sich P8 ob das System auch längerfristig Spaß macht.

Auch bezüglich einer täglichen Nutzung ist die Rückmeldung sehr positiv. Hier äußerten jedoch mehrere Probanden erneut ihre Skepsis über den Preis. Ohne Beachtung der Anschaffungskosten würden 66% das System täglich verwenden wollen. P5 schränkt die tägliche Nutzung auf Musik, Nachrichten und Videos ein. Für zwei Probanden ist die Duschzeit hingegen eine kurze, entspannende Ruhephase (P2, P6) und somit kein interaktives System nötig. In der folgenden Diskussion stellte sich heraus, dass diese Probanden nicht prinzipiell abgeneigt sind, sondern das System hierbei unterstützend durch Einblendung passender Umgebungen, z.B. einer Küste mit Meeresrauschen, nutzen würden. Seltener würden auch die anderen Funktionen genutzt werden, jedoch nicht täglich (P2). Weitere zwei Probanden verneinten die tägliche Nutzung auf Grund des hierbei stark ansteigenden Zeitverbrauchs durch die neu geschaffenen Möglichkeiten (P10, P11).

Auf die Frage was ihnen an diesem System besonders positiv in Erinnerung geblieben ist nannten mehr als 40% (P1, P2, P5, P11, P12) die *Idee* ein solches System zu entwickeln. Ebenfalls zu gefallen wusste die *effiziente Zeitnutzung* (P1, P4, P10), da es sich ansonsten um "tote Zeit" (P1) handeln würde. P3 war erstaunt, dass Wasser einerseits die Interaktion nicht wesentlich behinderte, andererseits jedoch durch selbiges auch bewusst interagiert werden konnte.

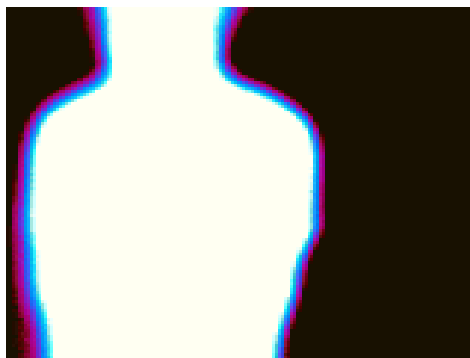
Lob erhielt weiter die Benutzeroberfläche für die intuitive Bedienung (P3, P5, P7, P12) und die großen Schaltflächen (P3). Die Möglichkeit Kinotrailer abzuspielen gefiel P8 insbesondere, da deren Länge ideal sei. In die gleiche Richtung geht auch der Wunsch von P12 eine verkürzte Nachrichtensendung wie die "Tagesschau in 100 Sekunden". Allgemein wurde die Auswahl der vorhandenen Applikationen an Hand der Online- Umfrage (vgl. 3) bestätigt und es seien alle wichtigen Anwendungsfälle abgedeckt (P8, P9). Dennoch entwickelten die Probanden weitere Ideen und Wünsche für weitere Anwendungen wie E-Mail (P5, P11) oder Verkehrsmeldungen (P7). Ebenfalls interessant seien erweiterte Smart-Home-Funktionen, z.B. die Anzeige der Wasser- und Raumtemperatur (P1), die Möglichkeit zu sehen wer gerade an der Haustüre klingelt oder anruft (P1), sowie die Möglichkeit bereits die Kaffeemaschine einzuschalten. P2 würde die Zeit gerne zum Vokabeln lernen nutzen über ein digitales Karteikartensystem. Auch der Zugriff auf die aktuellen Neuigkeiten aus sozialen Netzwerken (P4, P9) wurde als sinnvoll erachtet. Einige dieser Anwendungen wurden vereinzelt bereits ohne Kenntnis des Systems in der Online-Umfrage genannt.

Hierbei ist auffällig, dass die Anwendungswünsche stark von Smartphones inspiriert waren und das System kurzzeitig an dessen Stelle treten soll und kann. Dies zeigt sich auch daran, dass als Verbesserungsvorschläge typische Smartphone-Eigenheiten wie App-Store (P1), Multi-Touch (P5, P7) oder ganz allgemein mehr Spiele (P10, P11) und mehr Applikationen (P8) genannt wurden. Einen automatischen Wechsel der Inhalte, ähnlich eines Informations-Terminals an Bahnhöfen, bietet viele unterschiedliche Informationen ohne den Nutzer zu belasten. Da die Projektion in dieser Studie sich immer auf der gleichen Höhe befand (vgl. Abschnitt 6.1) wurde es für größere Probanden unbequem im unteren Bereich zu interagieren, da die Hand hierzu unnatürlich abgeknickt werden musste. Eine in Interaktionsfläche in Höhe des Kopfes aufwärts wird als bequemer und natürlicher empfunden (P1, P3, P7).

Die Kritik beschränkte sich vor allem auf die als zu langsam empfundene Reaktionszeit (P4, P5, P6, P7, P8, P9, P11, P12). Jedoch würden lediglich zwei Probanden zu Gunsten einer besseren Antwortzeit auf die Präzision verzichten (P1, P9). Als maximal akzeptable Fehlerrate nannten diese Probanden drei Fehler pro Duschgang bzw. ein Fehler bei 10 Interaktionen. Die große Mehrheit bevorzugt jedoch eindeutig die Präzision, auch da die Anzahl der Interaktionen für gewöhnlich niedriger sei als in der Studie (P2, P3). Die weiteren Kritikpunkte bezogen sich auf den durch dieses System vermutlich steigenden Wasserverbrauch (P1, P3), zu leise Lautsprecher (P1) und die Positionierung der Zurück-Schaltfläche links oben, da diese bei Android-Smartphones links unten sei und somit ungewohnt wäre (P10, P12).

### 6.3 Privatsphäre

Zum Abschluss der Studie wurde nochmals auf einen zentralen Punkt des ganzen Systems eingegangen - der Privatsphäre der Anwender. In der Online-Umfrage (vgl. Kapitel 3) wurde den Nutzern ein Wärmebild (vgl. Abbildung 2.2b) gezeigt und die Frage nach der Akzeptanz einer solchen Kamera gestellt. Hierbei zeigte sich, dass durchaus Vorbehalte gegen eine Platzierung im Badezimmer existieren. Während der Entwicklung der Algorithmen wurde die Farbskala des aufgenommenen Bildes so verändert, dass die besten Resultate erzielt wurden. Ein solches Bild ist in Abbildung 6.2 zu sehen. Auf Grund der Eingrenzung des Temperaturbereichs ist es unmöglich die betreffende Person zu identifizieren.



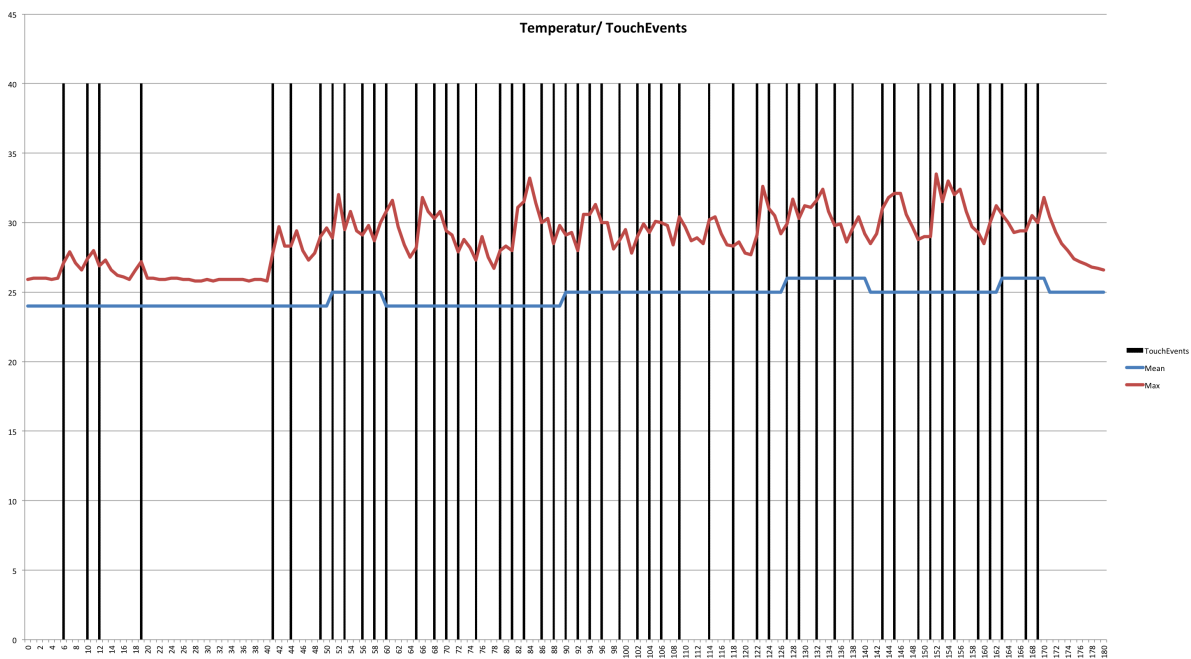
**Abbildung 6.2:** Aufnahme der Infrarot-Kamera während der Studie

Den Probanden hatten die Möglichkeit die aktuelle Aufnahme der Kamera zu sichten und wurden anschließend erneut zu diesem Thema befragt. Im Gegensatz zur Online-Umfrage antwortete kein Proband negativ, die große Mehrheit sah kein Problem mit einer solchen Kamera ( $Med = 5$ ,  $SD = 0.8$ ). Auch nach dem Hinweis der notwendigen Internetverbindung änderte hier kein Proband seine Aussage. Als Vergleich wurde auch die Akzeptanz einer RGB-Kamera erneut erfragt. Hier bestätigten sich die Ergebnisse der Online-Umfrage erneut ( $Med = 1.5$ ,  $SD = 1.03$ ). Insbesondere nach dem Hinweis auf die Internetverbindung sank die Bereitschaft nochmals.

## 6.4 Weitere Beobachtungen

### 6.4.1 Temperaturänderungen

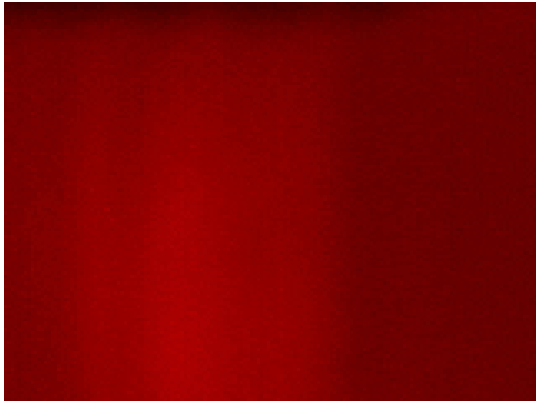
Da die Erkennung auf der jeweils gemessenen Temperatur basiert wurde diese über während der Studie aufgezeichnet. In Abbildung 6.3 ist der Temperaturverlauf bei *Fastest Changing Area* von der Kalibrierung bis zum Wechsel auf den nächsten Algorithmus zu sehen. Hierbei markiert die rote Kurve die jeweilige Maximaltemperatur, die blaue Kurve die Durchschnittstemperatur der Oberfläche sowie die schwarzen Balken einzelne erkannte Touch-Events.



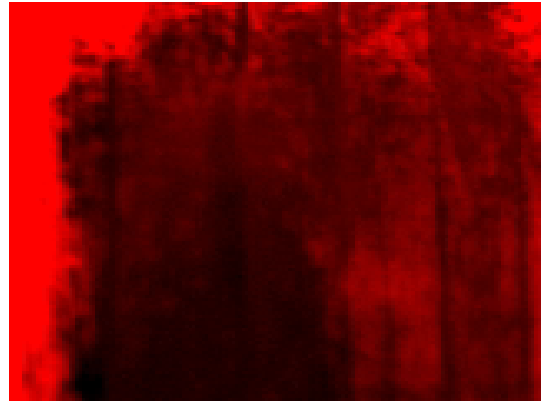
**Abbildung 6.3:** Temperaturverlauf während eines Durchgangs und die erkannten Touch-Events

Deutlich zu sehen ist, dass die Durchschnittstemperatur nahezu konstant ist und somit ein grundsätzlich ähnliches Verhalten der Algorithmen zu erwarten ist, da die Auslösetemperatur weitgehend dieselbe bleibt. Die in der Beschreibung der Algorithmen (vgl. Abschnitt 5.2, 5.3 und 5.4) aufgeführte Verzögerung zwischen erkanntem Touch-Event und Reaktion des Anwenders ist hier gut zu sehen. Die rote Kurve steigt noch an nachdem bereits ein Touch-Event erkannt wurde und ihre lokalen Extrempunkte liegen immer hinter einem schwarzen Balken. Dies ist die Zeit, welche der Nutzer noch benötigt um seine Hand von der Oberfläche zu nehmen und somit der Grund warum die gleiche Position eine entsprechende Zeit blockiert werden muss. Ebenfalls gut erkennbar ist wie schnell sich die Maximaltemperatur wieder verringert, wenn die Interaktion beendet wurde.

### 6.4.2 Oberflächenveränderung



(a) ohne Wassereinfluss



(b) mit Wassereinfluss

**Abbildung 6.4:** Vorhang mit und ohne Wassereinfluss

Während der Studie fiel auf, dass die Interaktion im oberen Bereich der Projektion deutlich besser funktionierte, während die Probanden im unteren Bereich deutlich mehr Mühe hatten eine Reaktion des Systems hervorzurufen. Bei näherer Untersuchung ergab sich, dass sich durch den Wassereinfluss die Oberflächentemperatur ungleichmäßig verändert. Während in Abbildung 6.4a in trockenem Zustand eine weitgehend gleichmäßige Temperatur vorherrscht ändert sich dies unter dem Einfluss von Wasser gravierend. Abbildung 6.4b zeigt den gleichen Ausschnitt kurze Zeit später. An den nassen Stellen kühlt sich der Vorhang deutlich ab wie an der dunkleren Farbe deutlich zu erkennen. Für die getesteten Algorithmen bedeutet dies eine Verzögerung der Reaktion, da sich der Vorhang an diesen Stellen nur schwer erwärmen lässt.



## 7 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde ein Prototyp einer interaktiven Duschkabine entwickelt, der es den Anwendern ermöglicht auch im Badezimmer durchgehend mit der Welt verbunden zu bleiben. Diese Umgebung war innerhalb des Badezimmers bisher nicht abgedeckt, während für andere Einrichtungsgegenstände wie den meist zentral angebrachten Spiegel bereits Lösungen existierten. In einer vorab durchgeführten Online-Umfrage bekundeten viele der Teilnehmer ihr Interesse an einem solchen System. Weitere Studien zeigen, dass die große Mehrheit auch im Badezimmer ihr Smartphone verwendet, was einerseits zu hygienischen Problemen und andererseits zu technischen Fehlern führen kann. Entsprechend den Wünschen und Voraussetzungen der Teilnehmer wurde ein Prototyp eines interaktiven Duschvorhangs entwickelt, der die am häufigsten genannten Anwendungsfälle abdeckt. Hierbei konnte durch die Nutzung einer Infrarot-Kamera auf Sensoren innerhalb der Duschkabine oder des Vorhanges verzichtet werden. Weiterhin schränkt das präsentierte System den Anwender weder in seiner Bewegungsfreiheit noch Gewohnheit ein. Zur Erkennung der Interaktion wurden drei verschiedene Algorithmen mit unterschiedlichen Ansätzen entwickelt. In einer durchgeführten Nutzerstudie wurden diese verglichen und von den Probanden bewertet. Hierbei zeigte sich, dass alle Algorithmen weitgehend robust gegen externe Einflüsse wie Wasser sind, sich jedoch trotzdem durch selbiges bedienen lassen. Auf Grund der höheren Geschwindigkeit präferierten die Probanden die beiden wertebasierten Algorithmen (*Hottest Point* und *Fastest Changing Area*). Da diese nahezu gleich bewertet werden ist der letztere zu bevorzugen, da dieser durch die Umwelt weniger beeinflusst wird. Weiterhin zeigte sich in der Nutzerstudie, dass die Probanden sehr an einem solchen System interessiert waren. Die Kritik, sofern vorhanden, richtete sich hauptsächlich auf die Reaktionsgeschwindigkeit des Systems. Aus der Sicht vieler Probanden ist dies aber zu vernachlässigen, da die Interaktionsfrequenz voraussichtlich im täglichen Gebrauch geringer ausfällt als in der Studie. Auch Vorbehalte gegen die Infrarot-Kamera konnten in der Nutzerstudie nicht bestätigt werden.

Probleme verursacht die Erkennung wenn die Temperatur des Wassers bzw. der Hand unterhalb der Raumtemperatur liegt, da das System auf Wärme reagiert. Hier ließe sich Abhilfe schaffen, wenn das System entweder per Sensor oder durch Analyse der Messdaten die aktuelle Wassertemperatur erkennen und entsprechend statt dem wärmsten Punkt bzw. der schnellsten Erwärmung den kältesten Punkt bzw. die schnellste Abkühlung als Touch Event akzeptieren würde. Nichtsdestotrotz ist das System nicht zu bedienen falls die Wassertemperatur sich der durchschnittlichen Oberflächentemperatur annähert, da in diesem Fall keine Erwärmung/ Abkühlung stattfinden kann und somit für die Infrarot-Kamera keine Veränderung sichtbar wäre. Ein weiteres Problem ist die Positionierung der Projektion. In der Nutzerstudie gaben die größeren Probanden an, dass diese etwas zu niedrig und die Bedienung gerade in der unteren Region unbequem gewesen sei. Als optimale Höhe wurde

eine Interaktionsfläche ab Schulterhöhe aufwärts angegeben, was allerdings bei der in der Nutzerstudie verwendeten Fläche auf Grund baulicher Gegebenheiten nur selten möglich sein wird.

In zukünftigen Arbeiten kann der Prototyp weiterentwickelt werden, indem die räumlichen Voraussetzungen verringert werden. In der aktuellen Version muss der Projektor auf Augenhöhe und frontal zum Anwender angebracht werden. Um diesen in Zukunft auch seitlich oder an der Decke anbringen zu können müsste eine Keystone-Korrektur verwendet werden. Weiterhin könnte mit Hilfe einer Tiefenbild-Kamera eine Verzerrungskorrektur eingebaut werden. Auch wenn sich kein Proband hierzu negativ geäußert hat ist eine leichte Verzerrung durchaus wahrzunehmen. Weiterhin wäre es für die Anwender angenehmer wenn auf physiologische Gegebenheiten eingegangen würde. Der *Largest Area*-Algorithmus ist mit größeren Händen offensichtlich leichter auszulösen, da die erwärmte Fläche so ebenfalls steigt. Hier müsste genauer untersucht werden ob durch eine Verringerung des Schwellenwertes die Fehlerrate ansteigt. Auch auf die Größe des Anwenders sollte reagiert werden, da so das System bequemer bedient werden kann.

In der Online-Umfrage, vor allem aber in der Nutzerstudie wurde das Thema Entspannung diskutiert. Hierbei ging es den Probanden darum, dass sie im Badezimmer und insbesondere in der Dusche kein Smartphone bedienen wollen, sondern kurze Zeit abschalten möchten. In diesem Zusammenhang wurde die Idee eines *Ambient Displays* entwickelt. Das vorgestellte System könnte so erweitert werden, dass es ohne Interaktion zunächst lediglich zur Entspannung beitragende Hintergrundbilder, wie einen Strand mit sich brechenden Wellen, einblendet und nur wenn der Nutzer interagiert auf das tieferliegende System zugreift.

In den nächsten Jahren ist zu erwarten, dass die in diesem Projekt verwendete Technik deutlich billiger wird. Dies ist notwendig, da die Kombination Duschvorhang und Bereitschaft eine große Summe für die Technik auszugeben eher gering sein wird. Da bereits in erste Smartphones ein Projektor eingebaut wird fehlt lediglich noch eine Infrarot-Kamera. Sollte dies in einigen Jahren der Fall sein, so könnte das Smartphone bequem in eine Wandhalterung abgelegt werden und das hier vorgestellte System wäre sofort funktionsfähig.

# A Anhang

## A.1 Fragebogen der Online-Umfrage

Herzlich Willkommen zur Umfrage: *Interaktion im Badezimmer*

Medien sind heutzutage allgegenwärtig. Wir fragen uns, ob auch im Badezimmer Potential für Mediennutzung besteht und brauchen dazu Ihre Meinung.

Die Umfrage dauert maximal 5 Minuten. Alle Daten werden anonymisiert gespeichert.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

### A.1.1 Demographie

- Wie alt sind Sie?
- Geschlecht?
- Was sind Sie von Beruf?
- In welchem Land leben Sie?

### A.1.2 Duschverhalten

- Wie oft duschen Sie pro Woche?
- Zu welcher Tageszeit duschen Sie für gewöhnlich?
- Wie lange dauert ein Duschgang bei Ihnen im Durchschnitt (in Minuten)?
- Welche Art von Dusche besitzen Sie (mit Bildern)?
  - Badewanne mit Duschvorhang
  - Dusche mit Duschvorhang
  - Dusche mit Kunststoffwänden
  - Dusche mit Milchgläserwänden
  - Dusche aus durchsichtigem Glas
  - Sonstiges

### A.1.3 Mediennutzung im Badezimmer

Wie gerne würden Sie folgende Medien im Badezimmer nutzen?

	gar nicht	eher nicht	neutral	eher ja	definitiv ja
Nachrichten lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videos schauen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kalender anzeigen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kalender verwalten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spiele spielen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Telefonieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TV-Programm anzeigen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Musik hören	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E-Mails lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Soziale Netzwerke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Welche anderen Anwendungen könnten Sie sich vorstellen im Badezimmer zu nutzen?

### A.1.4 Mediennutzung in der Dusche

Wie gerne würden Sie folgende Medien in der Dusche nutzen?

	gar nicht	eher nicht	neutral	eher ja	definitiv ja
Nachrichten lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videos schauen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kalender anzeigen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kalender verwalten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spiele spielen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Telefonieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TV-Programm anzeigen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Musik hören	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E-Mails lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Soziale Netzwerke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Welche anderen Anwendungen könnten Sie sich vorstellen in der Dusche zu nutzen?

### A.1.5 Technik im Badezimmer

- Würden Sie Kameras generell in Ihrem Badezimmer tolerieren?
  - generell nein
  - nur wenn diese Kamera mich nicht direkt filmen kann (z.B. hinter einer undurchsichtigen Wand/ Vorhang)
  - neutral
  - nur außerhalb der Duschkabine
  - generell ja
- Würden Sie eine Tiefenbild-Kamera in Ihrem Badezimmer tolerieren? *(zusätzlich wurde ein beispielhaftes Bild gezeigt)*
  - generell nein
  - nur wenn diese Kamera mich nicht direkt filmen kann (z.B. hinter einer undurchsichtigen Wand/ Vorhang)
  - neutral
  - nur außerhalb der Duschkabine
  - generell ja
- Würden Sie eine Infrarot-Kamera in Ihrem Badezimmer tolerieren? *(zusätzlich wurde ein beispielhaftes Bild gezeigt)*
  - generell nein
  - nur wenn diese Kamera mich nicht direkt filmen kann (z.B. hinter einer undurchsichtigen Wand/ Vorhang)
  - neutral
  - nur außerhalb der Duschkabine
  - generell ja

#### Dürfte eine solche Kamera mit dem Internet verbunden sein?

	gar nicht	eher nicht	neutral	eher ja	definitiv ja
RGB-Kamera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tiefenbild-Kamera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Infrarot-Kamera	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## **A.2 Durchführung der Studie**

### **A.2.1 Ablauf der Studie**

- Erklärung der Ziele der Umfrage
- Erklärung der Funktionsweise des Systems
- Vorstellung des Systems mit erster Condition (vgl. A.2.2)
- Whack-A-Mole mit Condition A
- verbaler Fragebogen zu Condition A
- Wechsel auf Condition B
- Proband hat etwas Zeit um sich mit der aktuellen Condition vertraut zu machen
- Whack-A-Mole mit Condition B
- verbaler Fragebogen zu Condition B
- Proband hat etwas Zeit um sich mit der aktuellen Condition vertraut zu machen
- Whack-A-Mole mit Condition C
- verbaler Fragebogen zu Condition C
- verbaler Fragebogen über das System
- abschließendes freies Interview

### **A.2.2 Walkthrough durch das System**

1. Öffne die Musik-Applikation
2. Starte die Wiedergabe eines beliebigen Musiktitels
3. Verlasse die Applikation und gehe zurück ins Menü
4. Öffne die Nachrichten-Applikation
5. Verlasse die Applikation und gehe zurück ins Menü
6. Wechsle in den Musikplayer
7. Pausiere die Wiedergabe
8. Verlasse die Applikation und gehe zurück ins Menü
9. Öffne die Videowiedergabe und schaue ein beliebiges Video
10. Beende die Wiedergabe
11. Verlasse die Applikation und gehe zurück ins Menü
12. Öffne die Karaoke-Applikation
13. Wähle einen beliebigen Titel und starte die Wiedergabe
14. Beende die Wiedergabe
15. Verlasse die Applikation und gehe zurück ins Menü
16. Betrachte die Wettervorhersage
17. Verlasse die Applikation und gehe zurück ins Menü
18. Starte den Spielmodus (Beginn der Studie)

### A.3 Fragebogen der Nutzerstudie

#### A.3.1 Algorithmen

Die folgenden Fragen wurden nach jeder Condition, d.h. für jeden Algorithmus einmal, gestellt:

**Wie empfanden Sie die Interaktion für den aktuellen Algorithmus (insgesamt)?**

sehr schlecht	eher schlecht	neutral	eher gut	sehr gut
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Wie reaktiv empfanden Sie das System?**

sehr langsam	eher langsam	neutral	eher schnell	sehr schnell
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Wie häufig hatten Sie das Gefühl das System reagiert Aktion Ihrerseits?**

sehr selten	eher selten	neutral	eher häufig	sehr häufig
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### A.3.2 Abschlussfragebogen

**Wie wahrscheinlich ist es, dass Sie ein solches System selbst kaufen und einsetzen würden?**

sehr unwahrsch.	eher unwahrsch.	neutral	eher wahrsch.	sehr wahrsch.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Nachdem Sie nun die aufgenommenen Bilder kennen, wie wahrscheinlich würden Sie eine Infrarot-Kamera in Ihrem Badezimmer akzeptieren?**

sehr unwahrsch.	eher unwahrsch.	neutral	eher wahrsch.	sehr wahrsch.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Angenommen es wäre an Stelle der Infrarot-Kamera eine gewöhnliche RGB-Kamera nötig, wie wahrscheinlich würden Sie eine Infrarot-Kamera in Ihrem Badezimmer akzeptieren?**

sehr unwahrsch.	eher unwahrsch.	neutral	eher wahrsch.	sehr wahrsch.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



### **A.3.3 Freies Interview**

Zum Abschluss wurde ein freies Interview mit den folgenden Fragen durchgeführt:

- Wie fanden Sie die Interaktion mit einem interaktiven Duschvorhang?
- Würden Sie einen interaktiven Duschvorhang täglich nutzen?
- Was fanden Sie an dem System gut?
- Was fanden Sie an dem System schlecht?
- Haben Sie Ideen für Verbesserungen?
- Welche zusätzlichen Anwendungen könnten Sie sich vorstellen?



## Literaturverzeichnis

- [11M] 11Mark. New IT in the Toilet Study Shows Americans Aren't Spending Alone Time Alone. (30.01.2012). URL <http://www.11mark.com/IT-in-the-Toilet>. (Zitiert auf Seite 8)
- [AS] S. Aust (Hrsg.), T. Schmid (Hrsg.). Männer brauchen im Bad länger als Frauen. *Die Welt [online]*, (24.07.2008). URL <http://www.welt.de/vermishtes/article2245748/Maenner-brauchen-im-Bad-laenger-als-Frauen.html>. (Zitiert auf Seite 8)
- [BITa] BITKOM. Das Handy als ständiger Begleiter. (06.09.2013). URL [https://www.bitkom.org/de/markt\\_statistik/64046\\_77337.aspx](https://www.bitkom.org/de/markt_statistik/64046_77337.aspx). (Zitiert auf Seite 7)
- [BITb] BITKOM. Hobbysportler nutzen neue Technologien. (28.11.2013). URL [http://www.bitkom.org/de/presse/78284\\_78066.aspx](http://www.bitkom.org/de/presse/78284_78066.aspx). (Zitiert auf Seite 7)
- [BITc] BITKOM. Smartphone-Boom setzt sich 2014 ungebrochen fort. (12.02.2014). URL [http://www.bitkom.org/de/presse/8477\\_78640.aspx](http://www.bitkom.org/de/presse/8477_78640.aspx). (Zitiert auf Seite 7)
- [BITd] BITKOM. Smartphone und Internet gehören für Kinder zum Alltag. (28.04.2014). URL [http://www.bitkom.org/de/presse/8477\\_79221.aspx](http://www.bitkom.org/de/presse/8477_79221.aspx). (Zitiert auf Seite 8)
- [BITe] BITKOM. Wenn das Handy keinmal klingelt. (30.08.2013). URL [http://www.bitkom.org/de/presse/78284\\_77258.aspx](http://www.bitkom.org/de/presse/78284_77258.aspx). (Zitiert auf Seite 8)
- [BK08] G. Bradski, A. Kaehler. *Learning OpenCV*. O'Reilly, Beijing; Köln[u.a.], 2008. URL <http://swbplus.bsz-bw.de/bsz28096496xcov.htmhttp://digitool.hbz-nrw.de:1801/webclient/DeliveryManager?pid=3613583>. (Zitiert auf Seite 34)
- [BPW11] A. Bujnowski, A. Palinski, J. Wtorek. An intelligent bathroom. In *Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2011 Federated Conference on*, S. 381–386. 2011. (Zitiert auf Seite 17)
- [Bra00] G. Bradski. The OpenCV Library. *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*, 2000. (Zitiert auf Seite 34)
- [BW09] H. Benko, A. Wilson. DepthTouch: Using depth-sensing camera to enable freehand interactions on and above the interactive surface. ... *on tabletops and interactive surfaces*, (March), 2009. URL <http://research.microsoft.com/jump/79848>. (Zitiert auf den Seiten 13, 14 und 23)

- [Cla] M. Clarke (Hrsg.). Nomophobia is the fear of being out of mobile phone contact - and it's the plague of our 24/7 age. *MailOnline*, (31.03.2008). URL <http://www.dailymail.co.uk/news/article-550610/Nomophobia-fear-mobile-phone-contact--plague-24-7-age.html>. (Zitiert auf Seite 7)
- [D] P. Dörhöfer. Wann der Griff zum Handy zur Sucht wird. *Frankfurter Rundschau [online]*, (21.01.2014). URL <http://www.fr-online.de/wissenschaft/smartphone-wann-der-griff-zum-handy-zur-sucht-wird,1472788,25946852.html>. (Zitiert auf Seite 8)
- [DDW12] Y. Duan, H. Deng, F. Wang. Depth Camera in Human-Computer Interaction: An Overview. In *Intelligent Networks and Intelligent Systems (ICINIS), 2012 Fifth International Conference on*, S. 25–28. 2012. doi:10.1109/ICINIS.2012.44. (Zitiert auf Seite 12)
- [DHL<sup>+</sup>08] J.-R. Ding, C.-L. Huang, J.-K. Lin, J.-F. Yang, C.-H. Wu. Interactive multimedia mirror system design. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 54(3):972–980, 2008. doi:10.1109/TCE.2008.4637575. (Zitiert auf Seite 16)
- [E W] E WIE EINFACH GmbH. Männer erobern Frauendomäne. (04.07.2012). URL [http://www.e-wie-einfach.de/presse/downloads/PM\\_04-07-2012\\_Koerperpflege.pdf](http://www.e-wie-einfach.de/presse/downloads/PM_04-07-2012_Koerperpflege.pdf). (Zitiert auf den Seiten 20 und 24)
- [FH11] A. P. Field, G. Hole. *How to design and report experiments*. Sage, Los Angeles [u.a.], 2011. (Zitiert auf Seite 42)
- [FKN05] K. Fujinami, F. Kawsar, T. Nakajima. AwareMirror: A Personalized Display Using a Mirror. In *Proceedings of the Third International Conference on Pervasive Computing, PERVASIVE'05*, S. 315–332. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005. doi:10.1007/11428572\_19. URL [http://dx.doi.org/10.1007/11428572\\_19](http://dx.doi.org/10.1007/11428572_19). (Zitiert auf Seite 16)
- [Fri] A. Friedl. Warum Singen gesund ist. *Die Welt [online]*, (16.12.2007). URL <http://www.welt.de/wissenschaft/article1461487/Warum-Singen-gesund-ist.html>. (Zitiert auf Seite 24)
- [Har10] Harman Deutschland GmbH. (Dusch-)Vorhang auf - 58% der Deutschen singen unter der Dusche, 2010. URL [http://www.pressekat.de/pm-18496-\(Dusch-\)Vorhang+auf+-+58%+der+Deutschen+singen+unter+der+Dusche.html](http://www.pressekat.de/pm-18496-(Dusch-)Vorhang+auf+-+58%+der+Deutschen+singen+unter+der+Dusche.html). (Zitiert auf Seite 20)
- [HBW11] C. Harrison, H. Benko, A. Wilson. OmniTouch: wearable multitouch interaction everywhere. *Proceedings of the 24th annual ACM ...*, S. 441–450, 2011. URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2047255>. (Zitiert auf Seite 14)
- [Hol] J. Hollandt. Infrarotstrahlung. *Welt der Physik*, (17.04.2009). URL <http://www.weltderphysik.de/gebiete/atome/forschung-mit-licht/elektromagnetisches-spektrum/infrarotstrahlung/>. (Zitiert auf Seite 13)

- [Hol03] A. Holzinger. Finger Instead of Mouse: Touch Screens As a Means of Enhancing Universal Access. In *Proceedings of the User Interfaces for All 7th International Conference on Universal Access: Theoretical Perspectives, Practice, and Experience, ERCIM'02*, S. 387–397. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2003. URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1765426.1765461>. (Zitiert auf Seite 11)
- [HSH12] S. Hirai, Y. Sakakibara, S. Hayakawa. Bathcratch: Touch and Sound-based DJ Controller Implemented on a Bathtub. In *Proceedings of the 9th International Conference on Advances in Computer Entertainment, ACE'12*, S. 44–56. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2012. doi:10.1007/978-3-642-34292-9\_4. URL [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-34292-9\\_4](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-34292-9_4). (Zitiert auf Seite 17)
- [Ihl] J. Ihlenfeld. Android-Smartphone mit integriertem Projektor von Samsung. *Golem.de*, (26.02.2012). URL <http://www.golem.de/news/galaxy-beam-android-smartphone-mit-integriertem-projektor-von-samsung-1202-90032.html>. (Zitiert auf Seite 11)
- [IS05] D. Iwai, K. Sato. Heat Sensation in Image Creation with Thermal Vision. In *Proceedings of the 2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE '05*, S. 213–216. ACM, New York, NY, USA, 2005. doi:10.1145/1178477.1178510. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1178477.1178510>. (Zitiert auf Seite 15)
- [KR13] S. D. Kundan, G. R. M. Reddy. Projection and Interaction with Ad-hoc Interfaces on Non-planar Surfaces. In *Advanced Computing, Networking and Security (ADCONS), 2013 2nd International Conference on*, S. 1–6. 2013. doi:10.1109/ADCONS.2013.41. (Zitiert auf Seite 15)
- [Las04] T. Lashina. Intelligent bathroom. In *EUSAI 2004, Workshop Ambient Intelligence Technologies for Well-Being at Home*, Eindhoven University of Technology, The Netherlands. 2004. (Zitiert auf den Seiten 16 und 17)
- [MPP<sup>+</sup>08] J. Marshall, T. Pridmore, M. Pound, S. Benford, B. Koleva. Pressing the flesh: Sensing multiple touch and finger pressure on arbitrary surfaces. In *Pervasive Computing*, S. 38–55. Springer, 2008. (Zitiert auf den Seiten 12 und 14)
- [MTT<sup>+</sup>13] Y. Matoba, Y. Takahashi, T. Tokui, S. Phuong, H. Koike. AquaTop Display. In *Proceedings of the Virtual Reality International Conference: Laval Virtual, VRIC '13*, S. 24:1—24:4. ACM, New York, NY, USA, 2013. doi:10.1145/2466816.2466842. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2466816.2466842>. (Zitiert auf Seite 17)
- [Opt] Optris GmbH. Grundlagen der berührungslosen Temperaturmessung. URL [http://www.optris.de/downloads-infrarotkamas?file=tl\\_files/pdf/Downloads/Zubehoer/IR-Grundlagen.pdf](http://www.optris.de/downloads-infrarotkamas?file=tl_files/pdf/Downloads/Zubehoer/IR-Grundlagen.pdf). (Zitiert auf Seite 13)
- [Pin01] C. Pinhanez. The everywhere displays projector: A device to create ubiquitous graphical interfaces. *Ubicomp 2001: Ubiquitous Computing*, 2001. URL [http://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-45427-6\\_27](http://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-45427-6_27). (Zitiert auf den Seiten 11, 12 und 13)

- [Pla] Plaxo Inc. Mobile, Address Book, and Backup Trends. (19.07.2011). URL <http://blog.plaxo.com/2011/07/plaxo-at-the-center-of-your-mobile-lifestyle/>. (Zitiert auf Seite 8)
- [Por12] C. Porter. Calling All Germs. *The Wall Street Journal [online]*, (23.10.2012), 2012. URL <http://online.wsj.com/news/articles/SB10000872396390444868204578064960544587522>. (Zitiert auf Seite 8)
- [Pri13] PricewaterhouseCoopers International Limited. Consumer Intelligence Series : Opening the Mobile Wallet, 2013. URL [http://www.pwc.nl/nl\\_NL/nl/assets/documents/pwc-consumer-intelligence-series-mobile-wallet.pdf](http://www.pwc.nl/nl_NL/nl/assets/documents/pwc-consumer-intelligence-series-mobile-wallet.pdf). (Zitiert auf Seite 7)
- [RBY<sup>+</sup>99] R. Raskar, M. S. Brown, R. Yang, W.-C. Chen, G. Welch, H. Towles, B. Scales, H. Fuchs. Multi-projector displays using camera-based registration. In *Visualization'99. Proceedings*, S. 161–522. IEEE, 1999. (Zitiert auf Seite 15)
- [SAH<sup>+</sup>14] A. Sahami Shirazi, Y. Abdelrahman, N. Henze, S. Schneegass, M. Khalilbeigi, A. Schmidt. Exploiting Thermal Reflection for Interactive Systems. In *Proceedings of the 2014 ACM annual conference on Human factors in computing systems (to appear)*, CHI '14, S. —. ACM, New York, NY, USA, 2014. doi:10.1145/2556288.2557208. URL <http://dx.doi.org/10.1145/2556288.2557208>. (Zitiert auf den Seiten 13, 14 und 39)
- [SBD<sup>+</sup>08] J. Schöning, P. Brandl, F. Daiber, F. Echtler, O. Hilliges, J. Hook, M. Löchtefeld, N. Motamedi, L. Muller, P. Olivier, Others. Multi-touch surfaces: A technical guide. *IEEE Tabletops and Interactive Surfaces*, 2, 2008. (Zitiert auf Seite 11)
- [Seb14] A. Sebayang. Samsungs Projektor-Smartphone mit Quad-Core-Prozessor. *Golem.de*, (26.4.2014), 2014. URL <http://www.golem.de/news/galaxy-beam-2-samsungs-projektor-smartphone-mit-quad-core-prozessor-1404-106091.html>. (Zitiert auf Seite 11)
- [Sec] SecurEnvoy Ltd. 66% of the population suffer from Nomophobia the fear of being without their phone. (16.02.2012). URL <http://www.securenvoy.com/blog/2012/02/16/66-of-the-population-suffer-from-nomophobia-the-fear-of-being-without-their-phone/>. (Zitiert auf Seite 7)
- [Wil04] A. D. Wilson. TouchLight: An Imaging Touch Screen and Display for Gesture-based Interaction. In *Proceedings of the 6th International Conference on Multimodal Interfaces*, ICMI '04, S. 69–76. ACM, New York, NY, USA, 2004. doi:10.1145/1027933.1027946. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1027933.1027946>. (Zitiert auf den Seiten 12 und 15)
- [Wil10] A. D. Wilson. Using a Depth Camera As a Touch Sensor. In *ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, ITS '10, S. 69–72. ACM, New York, NY, USA, 2010. doi:10.1145/1936652.1936665. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1936652.1936665>. (Zitiert auf Seite 12)

- [Zha99] Z. Zhang. Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations. In *Computer Vision, 1999. The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on*, Band 1, S. 666–673 vol.1. 1999. doi:10.1109/ICCV.1999.791289. (Zitiert auf Seite 15)
- [Zha12] Z. Zhang. Microsoft Kinect Sensor and Its Effect. *IEEE MultiMedia*, 19(2):4–10, 2012. doi:10.1109/MMUL.2012.24. URL <http://dx.doi.org/10.1109/MMUL.2012.24>. (Zitiert auf den Seiten 12 und 28)

Alle URLs wurden zuletzt am 04.05.2014 geprüft.





## **Erklärung**

Ich versichere, diese Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommene Aussagen als solche gekennzeichnet. Weder diese Arbeit noch wesentliche Teile daraus waren bisher Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens. Ich habe diese Arbeit bisher weder teilweise noch vollständig veröffentlicht. Das elektronische Exemplar stimmt mit allen eingereichten Exemplaren überein.

---

Ort, Datum, Unterschrift