

Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme

Universität Stuttgart
Universitätsstraße 38
D-70569 Stuttgart

Diplomarbeit Nr. 3726

**Verwenden von
berührungsempfindlichen Stoffen
zur Interaktion mit intelligenten
Geräten**

Alexandra Voit

Studiengang: Softwaretechnik

Prüfer/in: Prof. Dr. Albrecht Schmidt

Betreuer/in: M.Sc. Stefan Schneegaß

Beginn am: 17. April 2015

Beendet am: 17. Oktober 2015

CR-Nummer: H.5.2

Kurzfassung

Smartphones sind mittlerweile aus dem Alltag der Menschheit nicht mehr wegzudenken. Auch der Anteil von Smartwatches und Smartglasses hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Gerade bei Smartwatches und Smartglasses handelt es sich jedoch um sehr kleine Geräte – mit denen man jedoch auch interagieren muss. Bisher sind die Eingabemethoden für solche Geräte jedoch sehr eingeschränkt. Die vorgesehenen Flächen für die Touch-Eingabe sind sehr klein, sodass auf diesen Flächen meistens nur einfache Wischgesten möglich sind. Diese Interaktion ist jedoch nicht immer möglich – gerade im Winter kann es vorkommen, dass das Touch-Display von der Kleidung des Benutzers, beispielsweise einer Jacke, verdeckt wird. Neben der Touch-Eingabe steht meist noch eine Spracheingabe zur Verfügung, deren Verwendung in der Öffentlichkeit oder in Lauten Umgebungen nicht immer möglich ist.

Durch Entwicklungen im Bereich der intelligenten Kleidung besteht nun die Möglichkeit Stoffe berührungssempfindlich zu machen. Ziel dieser Diplomarbeit ist es berührungssempfindliche Stoffe zur Steuerung von tragbaren Geräten, wie Smartwatches und Smartglasses, zu verwenden. Dazu wird prototypisch die Steuerung einer Fitness-Applikation auf einer Smartwatch realisiert. Außerdem wird versucht mit einem berührungssempfindlichen Stoff eine Identifikation von Handabdrücken zu ermöglichen und diese Handdaten zur Authentifizierung zu nutzen. Beide Prototypen werden anhand von Benutzerstudien evaluiert.

Abstract

Smartphones have become an indispensable part of the everyday life. Also the quantity of smartwatches and smartglasses has greatly increased in recent years. Especially smartwatches and smartglasses are very small devices - it is important that there are possibilities to interact with them. So far, the input methods for such devices are very limited. The integrated touch-areas for smartwatches and smartglasses are very small, so only simple touch inputs and swipe gestures can be performed by the user. But this interaction is not always possible - notably in the winter it can occur that the touch area is obscured by the user's clothing, a jacket for example. Besides the possibility to interact with touch inputs, it is possible to interact with these devices with voice commands - but these commands might be not acceptable in the public or can not be executed in noisy environments.

Through developments in intelligent clothing it's now possible to create touch-sensitive fabrics. The aim of this thesis is to evaluate the use of touch-sensitive fabrics to control portable devices, like smartwatches or smartglasses. For this purpose a fitness application, which can be controlled with gestures on the touch-sensitive fabric, is implemented prototypically for a smartwatch. Another prototypically implemented use case for the touch-sensitive fabric is the identification of hand prints, which can be used for a authentication. Both prototypes are evaluated in user studies.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	11
1.1. Motivation	11
1.2. Aufgabenstellung	12
1.3. Gliederung	12
2. Grundlagen und verwandte Arbeiten	13
2.1. Interaktionen mit Textilien	13
2.1.1. Grafische Codierungen	13
2.1.2. Physikalische Buttons	15
2.1.3. Verwendung von zusätzlichen Sensoren oder bestimmten Umgebungen	18
2.1.4. Intelligente Textilien	20
2.2. Interaktionen mit intelligenten Geräten	33
2.2.1. Interaktionen mit Smartwatches	33
2.2.2. Interaktionen mit Smartglasses	35
3. Konzept	37
3.1. Anwendungsmöglichkeiten	38
3.1.1. Geräte	38
3.1.2. Anwendungsfälle	38
4. Technologie	43
4.1. Sensor	43
4.2. Datenverarbeitung	45
5. Anwendungsfall: Steuern einer Fitness-Applikation durch Gestenerkennung	47
5.1. Implementierung	47
5.1.1. Strichgesten-Erkennung	48
5.1.2. Gestenerkennung	53
5.2. Evaluierung	62
5.2.1. Teilnehmer der Studie	62
5.2.2. Versuchsaufbau	63
5.2.3. Durchführung der Studie	66
5.2.4. Ergebnisse	68

6. Anwendungsfall: Identifikation von Handdaten	77
6.1. Implementierung	77
6.1.1. Datenaufnahme	77
6.1.2. Plausibilitätsprüfung	78
6.1.3. Merkmalsbestimmung	79
6.1.4. Abstandbestimmung und Klassifizierung	80
6.2. Evaluierung	81
6.2.1. Teilnehmer der Studie	81
6.2.2. Versuchsaufbau	82
6.2.3. Durchführung der Studie	83
6.2.4. Ergebnisse	84
7. Zusammenfassung und Ausblick	87
Anhang	91
A. Anwendungsfall: Steuern einer Fitnessapplikation	93
A.1. Implementierung	93
A.1.1. Klassendiagramm	93
A.1.2. Sequenzdiagramm	94
A.2. Fragebögen zur Benutzerstudie	95
A.2.1. Eingangsfragebogen	95
A.2.2. System Usability Scale	96
A.2.3. AttrakDiff Mini	97
A.2.4. Abschlussfragebogen	98
A.3. Ergebnisse	99
A.3.1. AttrakDiff	99
A.3.2. Durchführungszeiten	100
A.3.3. Fehlerraten	101
Literaturverzeichnis	103

Abbildungsverzeichnis

2.1.	T-Shirts mit aufgedruckten interaktiven Codes	14
2.2.	Bedtime Stories, Quelle: [KWT14]	14
2.3.	T-Shirts mit Display und physischem Button, Quelle: [SGc]	16
2.4.	Rosner Jacke mit integriertem MP3-Player und Buttons am linken Ärmel um den MP3-Player zu steuern. Quelle: [Ros]	16
2.5.	T-Shirts mit interaktiven Musikinstrumenten	17
2.6.	Aufbau eines Buttons aus flexilem Material, Quelle: [Lio13]	17
2.7.	Prototyp des T-Shirts „ShirtOS“, Quelle: [Heib]	18
2.8.	HugShirt, Quelle: [RG06]	19
2.9.	Abbildungen zur Herstellung einer Tastatur aus Stoff	22
2.10.	Elektronische Stickerei und das dazugehörige Gegenstück für eine Jacke mit aufgestickter Handytastatur zum Erzeugen von MIDI-Musik. Quelle: [PORG00]	23
2.11.	Ansicht des Shirts von TagURIt, Quelle: [CKV11]	24
2.12.	Entwickelte elektronische Stickereien, Quelle: [CKV11]	25
2.13.	Schultergurt zur Interaktion	25
2.14.	Verschiedene Prototypen um einen MP3-Player über die Kleidung zu steuern. Quelle: [HSP ⁺ 08]	26
2.15.	Aufgenähte Streifen zur Interaktion, Quelle: [HPC14]	27
2.16.	JogWheel, Quelle: [ZGPS12]	27
2.17.	Mit den Geräten kann auch in Taschen interagiert werden, Quelle: [SHB11] . .	28
2.18.	Interaktionen können durch Zusammen- und Auseinanderziehen von Falten im Stoff getätigter werden., Quelle: [KWHB10, KWL ⁺ 11]	29
2.19.	Armband aus interaktiven Stoffstreifen, Quelle: [PCH ⁺ 14]	29
2.20.	An der Hose sind auf Höhe der Oberschenkel TouchPads für Pointing- Eingaben integriert. Quelle: [HIWB14]	30
2.21.	Mögliche und sozial akzeptierte Bereiche am Körper	32
3.1.	Konzept	37
3.2.	Ausführen von Strichgesten bei berührungsempfindlicher Kleidung am Arm .	38
3.3.	Anwendung: MP3-Player	39
3.4.	Auf Anruf reagieren	40
3.5.	Mögliche Anwendung als Fitness-Applikation	41
3.6.	Identifizieren mit intelligenter Kleidung	41
3.7.	Texteingabe	42

4.1. Funktionsweise des Sensors	43
4.2. Architektur des Sensors	44
4.3. Entwickelter Stoff	45
4.4. Sequenzdiagramm zum Empfang der Sensor-Daten	46
4.5. Aufbau des Systems	46
5.1. Aufbau des Systems	47
5.2. Ansichten der Fitness-Applikation	48
5.3. Beschreibung einer Strichgeste	50
5.4. Sequenzdiagramm zur Erkennung einer Strichgeste	52
5.5. Beispiele für ausgeführte Strichgesten	53
5.6. Modus: Gesture Trainer zum Definieren von Gesten und Erstellen von weiteren Vorlage zu bereits existenten Gesten	54
5.7. Vergleich der originalen Eingaben von vier Wischgesten in der oberen Reihe zu den aufbereiteten Eingaben als äquidistante Punkte in der unteren Zeile	58
5.8. Vergleich der originalen Eingaben von zwei Gesten mit jeweils vier Strichgesten in der ersten und dritten Reihe zu den aufbereiteten Eingaben als äquidistante Punkte in der zweiten und vierten Reihe.	60
5.9. Strecke	63
5.10. Aufgabe zum Pausieren des Trainings	64
5.11. Ansichten unterschiedlicher Button-basierter Fitness-Applikationen	65
5.12. Ausstattung eines Probanden	67
5.13. Verwendete Gesten	67
5.14. System Usability Score zu beiden Eingabemethoden mit Mittelwerten	68
5.15. Profil der Wortpaare	70
5.16. Mittelwerte für beide Eingabemethoden unterteilt in PQ, HQ-S, HQ-I und ATT	70
5.17. AttrakDiff Mini Ergebnisse für die Button-basierte Applikation	71
6.1. Vergleich der ungefilterten Handdaten zu den Handdaten nach erfolgter Plausibilitätsprüfung	79
6.2. Vergleich der Handdaten nach Plausibilitätsprüfung zu den Rausch-reduzierten Handdaten	81
6.3. Armumfang der Teilnehmer am Handgelenk, sowie am Ellenbogen	82
6.4. Versuchsaufbau der Studie	83
6.5. Geforderte Handhaltung zur Datenaufnahme	83
6.6. Vergleich unterschiedlicher Handdaten	85
7.1. Berührungsempfindlicher Stoff am Unterarm	88

Tabellenverzeichnis

5.1. Durchführungszeiten für die einzelnen Aufgaben, unterteilt nach den verwen- deten Eingabemethoden	73
5.2. Gemessene Fehlerraten im Mittel	74
6.1. Confusion matrix	84

Verzeichnis der Algorithmen

5.1. Algorithmus zur Strichgesten-Erkennung	50
5.2. Algorithmus zur Aufbereitung der Strichgesten	56
5.3. Algorithmus zur Translation der Strichgeste	56
5.4. Algorithmus zur Berechnung der Bounding Box	56
5.5. Algorithmus zur Ähnlichkeitsbestimmung zweier Strichgesten mit \$1	57
5.6. Algorithmus zur Ähnlichkeitsbestimmung zweier Strichgesten mit \$P	59
5.7. Algorithmus zur Erkennung einer Tippgeste mit einem Finger	61
6.1. Algorithmus zur Plausibilitätsprüfung	78
6.2. Algorithmus zur Behandlung des Rauschens bei Handdaten	80

1. Einleitung

In diesem Kapitel wird zuerst auf die Motivation zu dieser Diplomarbeit eingegangen, bevor die Aufgabenstellung und die Gliederung vorgestellt werden.

1.1. Motivation

In den letzten Jahren hat die Anzahl der elektronischen Geräte im alltäglichen Umfeld des Menschen zugenommen. Zu diesen Geräten gehören mittlerweile neben Smartphones auch Smartwatches und Smartglasses. Auch mit diesen vergleichsweise kleinen Geräten muss der Benutzer interagieren können. Für das Smartphone gibt es diverse Eingabemöglichkeiten. Hierzu gehören vor allem präzise Pointing-Eingaben, die Texteingabe und die Eingabe durch Wischgesten, welche von dem großen Touchscreen ermöglicht werden. Bei Geräten wie Smartwatches und Smartglasses hingegen sind die Eingabemöglichkeiten bisher jedoch auf einfache Wischgesten am Gerät selbst oder Spracheingabe beschränkt. Diese Eingabemöglichkeiten haben – im Vergleich zu anderen Eingabemöglichkeiten elektronischer Geräte, wie beispielsweise bei einer Eingabe am Smartphone – eindeutige Nachteile. So setzt beispielsweise die Spracheingabe die Kenntnis bestimmter Befehle voraus, zudem lässt sich diese Eingabemöglichkeit in bestimmten Umgebungen nicht optimal einsetzen, da die Akzeptanz im öffentlichen Raum kaum gegeben ist oder diese in lauten Umgebungen nicht möglich ist. Auch die Eingabemöglichkeit durch Wischgesten am Gerät selbst ist eingeschränkt. Die berührungsempfindlichen Flächen an Geräten von Smartwatches oder Smartglasses sind sehr klein. Dadurch können nur sehr wenige und einfache Wischgesten durchgeführt werden und präzise Pointing-Eingaben sind kaum machbar. Auch eine effiziente Texteingabe ist mit diesen Geräten bisher nicht möglich.

Neue Entwicklungen im Bereich der intelligenten Kleidung erlauben es, Stoffe berührungsempfindlich zu machen und ermöglichen damit, dass Toucheingaben auf diesen ausgeführt werden. Diese Fähigkeit des Stoffes lässt explizite sowie implizite Eingaben des Benutzers zu. Diese Eingaben können unter anderem dafür genutzt werden tragbare Geräte, wie Smartwatches und Smartglasses zu steuern und auch Pointing- oder Texteingaben zu ermöglichen.

Ein weiterer Vorteil dieser Art von Interaktion ist, dass der Benutzer diese Interaktionen direkt auf seiner Kleidung ausführt. Der Benutzer kann somit direkt mit der Interaktion starten und muss nicht zuvor beispielsweise seine Jacke ausziehen um seine Smartwatch zu bedienen oder ein zusätzliches mobiles Eingabegerät, wie zum Beispiel sein Smartphone, aus der Tasche holen.

1.2. Aufgabenstellung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden Interaktionsmöglichkeiten zwischen Mensch und interaktiven Geräten, wie beispielsweise Smartwatches oder Smartglasses, über berührungs- empfindliche Bereiche und Gesten an der Kleidung des Menschen analysiert. Es soll mindestens eine dieser identifizierten Interaktionsmöglichkeiten als Prototyp implementiert und anschließend mit geeigneten Methoden evaluiert werden.

1.3. Gliederung

Die Arbeit ist in folgender Weise gegliedert:

Kapitel 2 – Grundlagen und verwandte Arbeiten: Hier wird auf die Grundlagen zu Interaktionen mit Kleidung eingegangen, sowie verwandte Arbeiten beschrieben.

Kapitel 3 – Konzept: Die grundlegenden Ideen hinter dieser Diplomarbeit werden vorgestellt. Es wird beschrieben, inwiefern in Kleidung integrierte berührungsempfindliche Stoffe zur Interaktion verwendet werden können.

Kapitel 4 – Technologie: In diesem Kapitel wird die verwendete Technologie beschrieben.

Kapitel 5 – Anwendungsfall: Steuern einer Fitness-Applikation durch Gestenerkennung: In diesem Kapitel wird auf die Implementierung und die Evaluierung des erstellten Prototyps zur Interaktion mit einer Fitness-Applikation auf einer Smartwatch eingegangen.

Kapitel 6 – Anwendungsfall: Identifikation von Handdaten: Hier wird die Entwicklung eines Prototyps zur Identifikation von Handdaten über berührungsempfindliche Kleidung beschrieben.

Kapitel 7 – Zusammenfassung und Ausblick: Dieses Kapitel fasst die Ergebnisse der Arbeit zusammen und stellt Anknüpfungspunkte vor.

2. Grundlagen und verwandte Arbeiten

Dieses Kapitel erläutert die Grundlagen zu möglichen Interaktionen, die der Benutzer am Körper des Menschen auslösen kann. Dazu gehören Interaktionen, welche mit der Kleidung ausgelöst werden können, sowie Interaktionen mit intelligenten Geräten, die am Körper getragen werden. Zudem bietet es eine Übersicht über verfasste Arbeiten, die thematisch der Idee dieser Diplomarbeit ähneln, zeigt aber auch Abgrenzungen zu diesen Arbeiten auf.

2.1. Interaktionen mit Textilien

In diesem Abschnitt werden zuerst verwandte Arbeiten beschrieben, welche auf expliziten Interaktionen mit der Kleidung des Menschen basieren. Hierzu gehören vor allem Arbeiten, welche grafische Codierungen, physikalische Buttons, sowie zusätzliche Sensoren oder weitere externe Geräte nutzen um eine Interaktion anhand der Kleidung auszulösen. Anschließend wird auf die Grundlagen und verwandte Arbeiten zu Anwendungen mit berührungsempfindlichen Stoffen, welche direkt in die Kleidung des Menschen integriert werden können, eingegangen. Diese Diplomarbeit geht nicht auf verwandte Arbeiten ein, die implizite Interaktionen verwenden oder nicht durch die Kleidung ausgelöst wurden und sich nur auf die Kleidung auswirken.

2.1.1. Grafische Codierungen

Viele Interaktionen im Bereich von Kleidung basieren auf grafischen Codierungen. Auch Stoffe, insbesondere Kleidung können mit solchen Codes bedruckt werden. Informationen, die Buchstaben und Ziffern enthalten, können grafisch codiert und durch bestimmte Lesegeräte auch wieder decodiert werden [LYL08]. Ein solches Lesegerät kann auch ein Smartphone mit entsprechender Decodierungsanwendung sein, welche den Code aufnimmt und decodiert. Barcodes stellen Informationen durch verschiedene breite, parallele Striche und Lücken dar [Wika]. Ein Quick Response Code, welcher auch als QR-Code bezeichnet wird, besteht hingegen aus einem Quadrat mit schwarzen und weißen Pixeln.

Viele Händler bieten T-Shirts an, die codierte Informationen enthalten [SGa, SGb]. So ist exemplarisch bei der Stern und Schatz GmbH ein T-Shirt erhältlich, das einen gewünschten Text, wie beispielsweise den Namen des Trägers, als Barcode darstellt (siehe Abbildung 2.1(a)). Außerdem kann man ein T-Shirt mit einem selbst definierten QR-Code bestellen [SGb]. In Abbildung 2.1(b) wird zum Beispiel die Information „Voucher code for 0,50 EUR rebate: SCANMEBABY“ codiert.

2. Grundlagen und verwandte Arbeiten



(a) Aufgedruckter Barcode
Quelle: [SGa]



(b) Aufgedruckter QR-Code
Quelle: [SGb]

Abbildung 2.1.: T-Shirts mit aufgedruckten interaktiven Codes

Grafische Codes können nicht nur zum Codieren und Decodieren von Informationen verwendet werden. Mit dem Projekt „Bedtime Stories“ von Kuusk et al. besteht beispielsweise die Möglichkeit bestimmte Grafiken auf gemusterten Stoffen, wie Bettwäsche, abzubilden und diese anschließend mit spezieller Software auszulesen und somit einen Einblick in eine virtuelle Realität zu bekommen [KWT14]. Diese Software gibt die aktuelle Ansicht der Kamera wieder, ersetzt jedoch erkannte grafische Codes durch digitale Abbildungen. So wird beispielsweise in Abbildung 2.2 auf dem iPad anstelle eines erkannten Codes ein Wolf eingebettet. Diese Möglichkeit ist besonders für Kinder interessant, da diese dadurch Geschichten, etwa Märchen, auch visuell erleben können.



Abbildung 2.2.: Bedtime Stories, Quelle: [KWT14]

Stoffe mit aufgedruckten grafischen Codierungen sind zwar prinzipiell interaktiv, allerdings muss diese Interaktion durch ein zusätzliches, externes Gerät, beispielsweise durch ein Smartphone, getriggert werden. Im Rahmen dieser Diplomarbeit sollen allerdings interaktive Stoffe betrachtet werden, bei denen die Interaktion durch den Stoff selbst ausgelöst werden kann.

2.1.2. Physikalische Buttons

Meistens werden für Interaktionen, die durch die Kleidung selbst ausgelöst werden, physikalische Buttons in die Kleidung integriert. Es mag zwar für spezielle Anwendungen ganz praktisch sein, wenn solche physikalischen Buttons mit entsprechenden Symbolen in die Kleidung integriert werden können. Im Allgemeinen sind solche physikalischen Buttons jedoch eher unpraktisch, da diese zusätzlich in die Kleidung hinzugefügt werden müssen und nicht flexibel einsetzbar sind. Sollen durch die Kleidung mehrere Applikationen gesteuert werden können, so müssen unterschiedliche Interaktionsmöglichkeiten realisiert werden. Diese Möglichkeiten unterscheiden sich dann auch in der Anzahl der möglichen Interaktionen. Eine symbolische Kennzeichnung der Buttons ist kaum praktikabel, da die Funktion von der jeweiligen Anwendung abhängt. Somit sind diese Buttons nicht zur universellen Interaktion mit beliebigen Applikationen geeignet. Daher beschäftigt sich diese Diplomarbeit auch nicht mit dem Verwenden von zusätzlichen, physikalischen Buttons.

Govender besitzt ein Patent für Displays aus Elektrolumineszenz-Folie, welche mit Klettverschlüssen an der Kleidung befestigt werden und zum Waschen zusammen mit der gesamten Elektronik abgenommen werden können [Gov09]. Zum Beleuchten des Displays wird eine Leuchtstoffschicht verwendet, die sich zwischen zwei isolierenden Schichten befindet. An die isolierenden Schichten grenzt dann jeweils eine transparente leitfähige Schicht aus Indiumzinnoxid (IOT) an. Diese IOT-Elektroden werden mit der Energieversorgung verbunden und versorgen so die Leuchtstoffschicht mit Strom. Der Strom regt die Leuchtstoffschicht zum Leuchten an. Je nach der verwendeten Leuchtstoffschicht kann eine Vielzahl an Farben dargestellt werden. Dadurch kann das darzustellende Design ohne Verwendung von Schablonen oder Lichtquellen, wie Glühbirnen oder LEDs, beleuchtet werden.

Die Stern und Schatz GmbH vertreibt ein interaktives T-Shirt, welches solch ein Display aus Elektrolumineszenz-Folie verwendet [SGc]. Dieses T-Shirt zählt die Anzahl der Personen, denen etwas (beispielsweise eine Aussage oder das T-Shirt selbst) gefallen hat analog zu dem Mechanismus von Facebook bei Postings. Das T-Shirt ist in Abbildung 2.3 dargestellt. In das Display ist zusätzlich ein Button integriert. Wird dieser Button berührt, so erhöht sich der auf dem Display gezeigte Wert um eins. Das Display und der integrierte Button werden mit einem Mikrocontroller verbunden und zusammen mit der Batterieversorgung in einer Tasche im Inneren des T-Shirts versteckt. Beim Anschalten des Gerätes wird der Zähler automatisch zurückgesetzt.

Verschiedene Hersteller vertreiben mittlerweile Jacken, welche in der Lage sind MP3-Player zu steuern [Ros, Sha, Zeg]. Beispielsweise sind in die Jacke von Rosner [Ros], welche in Abbildung 2.4 dargestellt ist, ein MP3-Player, ein Mikrofon, sowie Kopfhörer bereits integriert. Der mitgelieferte MP3-Player ist mit der Jacke verbunden und besitzt am Ärmel Knöpfe, mit denen der verbundene MP3-Player bedient werden kann. Zudem kann über Bluetooth zusätzlich auch ein Telefon mit der Jacke verbunden werden. Damit ist es möglich mit der Jacke auch Anrufe zu tätigen oder automatisch anzunehmen.

2. Grundlagen und verwandte Arbeiten



(a) Facebook-Shirt, Ansicht 1
Quelle: [SGc]



(b) Facebook-Shirt, Ansicht 2
Quelle: [SGc]



(c) Facebook-Shirt, Ansicht 3
Quelle: [SGc]

Abbildung 2.3.: T-Shirts mit Display und physischem Button, Quelle: [SGc]



Abbildung 2.4.: Rosner Jacke mit integriertem MP3-Player und Buttons am linken Ärmel um den MP3-Player zu steuern. Quelle: [Ros]

Liotta besitzt ein Patent für T-Shirts mit interaktiven Musikinstrumenten [Lio13]. Auf den T-Shirts werden eine elektrische Gitarre, ein elektrisches Schlagzeug und ein elektrisches Keyboard abgebildet, welche vom Träger des T-Shirts gespielt werden können. Alle T-Shirts sind in Abbildung 2.5 dargestellt. Zum Spielen der Instrumente werden externe interaktive Elemente an der Vorderseite des T-Shirts befestigt und die benötigten Lautsprecher werden zusammen mit der Energieversorgung im Inneren des T-Shirts in einer Tasche verstaut. Durch Berühren der interaktiven Elemente, werden die jeweils passenden Töne bzw. Akkorde abgespielt. Die Abspieldauer entspricht der Berührungszeit des Buttons. Für die Berührungserkennung beim Spielen des einzelnen Elementes des Schlagzeugs, sowie bei der Auswahl der Akkorde bzw. Noten am Gitarrenhals werden unterschiedliche Buttons verwendet. Am Gitarrenhals werden beispielsweise 14 Buttons verwendet.

Diese Buttons werden aus flexilem Material hergestellt. Beispielsweise ist ein Button der interaktiven Gitarre folgendermaßen aufgebaut: Unter der Oberfläche des Buttons ist ein leitfähiger



(a) T-Shirt mit interaktiver Gitarre, Quelle: [Geeb]

(b) T-Shirt mit interaktivem Schlagzeug 2, Quelle: [Geea]

(c) T-Shirt mit interaktivem Keyboard, Quelle: [Geec]

Abbildung 2.5.: T-Shirts mit interaktiven Musikinstrumenten

Auslöser angebracht und unterhalb dieses Auslösers befinden sich zwei Elektroden. Jedoch sind diese Elektroden aufgrund eines kleinen Spalts unterhalb des Auslösers nicht miteinander verbunden. Damit der Auslöser diese Spalte im Normalzustand nicht schließt, werden zwischen dem Auslöser und den Elektroden zwei Federn gespannt. Erfolgt eine Berührung durch den Träger des T-Shirts so werden diese Federn zusammengedrückt und die Spalte zwischen den Elektroden wird durch den Auslöser überbrückt und dies ermöglicht einen Stromfluss. Der Aufbau dieser Buttons wird auch in Abbildung 2.6 dargestellt.

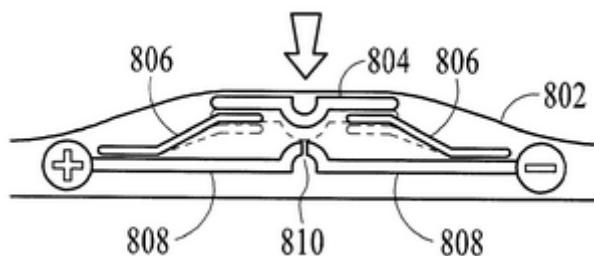


Abbildung 2.6.: Aufbau eines Buttons aus flexilem Material, Quelle: [Lio13]

Rosella und Genz besitzen ein Patent für ein T-Shirt mit kommunikativem Multimedia-Display [RG13]. Das Multimedia-Display ist in die Vorderseite eines T-Shirts integriert und besteht aus 1024 Drei-Farb-Leuchtdioden (LEDs), welche in einem Quadrat mit jeweils 32 LEDs pro Zeile und 32 LEDs pro Spalte angeordnet sind. Auf diesem Display können somit Texte, Bilder und Videos in einer Größe von 32 x 32 Pixeln dargestellt werden. Das Display kann durch implizite Interaktion gesteuert werden. Mit einer Smartphone-Anwendung können Multimedia-Daten mittels Funkübertragungstechniken, wie Bluetooth, zum T-Shirt übertragen werden. Die übertragenen Multimedia-Daten können nun entweder Remote über das Multimedia-Display, sowie den integrierten Lautsprecher abgespielt und dargestellt oder auf einem externen Flash-Speicher gespeichert werden.



Abbildung 2.7.: Prototyp des T-Shirts „ShirtOS“, Quelle: [Heib]

Zudem sind auch explizite Interaktionen mit dem T-Shirt möglich. Hierzu gehört die Möglichkeit durch einen Button mit der integrierten Kamera und einem integrierten Mikrofon Fotos, Videos oder Tonaufnahmen zu machen, welche mit der Smartphone-Anwendung wieder durch implizite Interaktion auf dem Display dargestellt oder zum Smartphone übertragen werden können. Außerdem kann mit diesen Button durch explizite Interaktion der Lautsprecher an und ausgeschaltet werden, sodass die Wiedergabe von Audio-Daten gestartet oder gestoppt werden kann. Mit einem Beschleunigungssensor können implizit bestimmte Bewegungen erkannt werden und dadurch spezifizierte Aktionen automatisch ausgeführt werden. Auf diesem Patent basiert die Entwicklung des T-Shirts T-Shirt OS, welches derzeit von der Londoner Firma CuteCircuit entwickelt wird [Cut, Heib]. Ein Prototyp dieses T-Shirts ist in Abbildung 2.7 dargestellt.

2.1.3. Verwendung von zusätzlichen Sensoren oder bestimmten Umgebungen

Um Kleidung interaktiv zu gestalten, können auch zusätzliche Sensoren in die Kleidung integriert werden. So haben Rosella und Genz ein Patent für ein Shirt entwickelt, das in der Lage ist durch integrierte Sensoren Umarmungen aufzunehmen und diese zu verschicken, sowie empfangene Umarmungen mit Hilfe von integrierten Aktuatoren wiederzugeben [RG06]. Für die Umsetzung dieser Anwendung, wurden zwei Shirts entwickelt, welche wiederum zu jeweils einem Smartphone verbunden sind. Jedes dieser Shirts enthält an bestimmten Positionen Regionen mit mindestens einem Sensor und mindestens einem Aktuator. Diese Regionen befinden sich beispielsweise am Nacken, an der Taille und am Rücken. Als Sensoren werden Drucksensoren, Temperatursensoren, sowie ein Herzfrequenz-Sensor verwendet. Als Aktuatoren werden Pumpen und (Luft-)Ballons zur Wiedergabe des Drucks der Umarmung, Heizkissen zur Wiedergabe der Körpertemperatur des Umarmenden, sowie ein Lautsprache zur Wiedergabe der Herzfrequenz des Umarmenden verwendet. Alle diese Sensoren und Aktuatoren sind mit dem verwendeten Mikroprozessor verbunden. Durch eine bestimmte Geste an beiden Schultern wird zehn Sekunden lang eine Umarmung aufgezeichnet, d.h. der Mikroprozessor fragt die Werte aller Sensoren ab und wandelt diese Sensordaten in einen Datenstrom um und sendet diese Daten über Bluetooth an das verbundene Smartphone. Letztendlich wird die Umarmung per SMS an die zu umarmende Person, welche aufgrund der aktuellen Entfernung zum Umarmenden ausgewählt

wird, verschickt. Enthält das Smartphone der umarmten Person eine Umarmungs-SMS und ist es zu dem Zeitpunkt mit einem Umarmungs-Shirt verbunden, so wird die empfangene Umarmung automatisch an den Mikroprozessor des Shirts weitergeleitet und von diesem durch die jeweiligen Aktuatoren wiedergegeben. Das von der Firma **CuteCircuit** entwickelte „HugShirt“ ist in Abbildung 2.8 dargestellt.



Abbildung 2.8.: HugShirt, Quelle: [RG06]

Bei dem „HugShirt“ handelt es sich um ein interaktives Kleidungsstück, welches durch die Kleidung selbst in der Lage ist Berührungen aufzunehmen und wiederzugeben. Allerdings handelt es sich hier um eine sehr spezifische Anwendung. Das Konzept dieser Anwendung kann nicht auf weitere mögliche Anwendungsfälle zum Steuern eines intelligenten Gerätes übertragen werden.

Wakita und Shibutani haben ein Stoff-Display entwickelt [WS06]. Hierfür werden mehrere quadratische Stoffteile aus leitfähigen Garnen verwendet, welche mit Flüssigkristallen beschichtet sind und als „Fabcells“ bezeichnet werden und in Matrizenform angeordnet sind. Wenn diese Fabcells an Strom angeschlossen sind, können die Fabcells unterschiedliche Farben darstellen. Die Farbe, die das jeweilige Fabcell einnimmt, hängt von der Temperatur des Fabcells selbst ab. Insgesamt kann ein Fabcell bei einer Temperatur von 30 – 40° Celsius die folgenden acht Farben annehmen: schwarz, grau, bordeaux, olive, grün, blau-grün, grün-blau und blau. Jedes Fabcell ist durch einen eigenen Button an der PIC ansprechbar. Wird dieser Button gedrückt verändert sich die Farbe des Fabcells solange bis der Button wieder losgelassen wird. Die Farbreihenfolge ist hierbei dieselbe wie zuvor beschrieben. Die Farbe der Fabcells kann sich jedoch auch auf zwei weitere Arten verändern: Zum einen ändert sich die Färbung der Fabcells, wenn sich die Umgebungstemperatur verändert. Wird exemplarisch die Umgebungstemperatur kühler, nimmt auch die Temperatur der einzelnen Fabcells ab - die Farbe der Fabcells verändert sich also in Richtung schwarz. Zum Anderen verändert sich die Temperatur eines Fabcells auch, wenn dieses vom Benutzer berührt wird. Diese Fabcells können zwar in die Kleidung des Menschen integriert werden und reagieren auf Berührung, allerdings geschieht dies nur aufgrund der sich verändernden Temperatur und nicht weil die Berührung selbst erkannt und eine Aktion ausgelöst wurde.

Zudem besteht auch die Möglichkeit Berührungen auf Stoff durch externe Geräte in speziellen Umgebungen zu erkennen.

2. Grundlagen und verwandte Arbeiten

Lepinski und Vertegaal haben ein interaktives Stoffdisplay entwickelt, welches mit Hilfe von Gesten gesteuert werden kann [LV11]. Hierfür werden der Stoff, sowie die Hand des Benutzers mit reflexiven Punkten optisch getrackt. Zusätzlich wird die Oberfläche des Stoffes durch die Verwendung eines Laserscanners erkannt und das Display wird auf die Oberfläche des Stoffs projiziert. Dadurch können Gesten auf dem Stoffdisplay ausgeführt und erkannt werden. Folgende Gesten werden auf diesem Stoffdisplay erkannt und sollten die dazugehörigen Aktionen auslösen:

- **Den Stoff auseinander ziehen:** Vergrößert die Darstellung des Displays
- **Den Stoff zusammen pressen:** Verkleinert die Darstellung des Displays
- **Ein Objekt damit bedecken:** Zeigt kontextbezogene Informationen zum bedeckten Objekt an oder passt die Darstellung des Displays auf die Oberfläche des bedeckten Objekts an
- **Mit der Hand oder einem Finger über dem Stoff schweben:** Listet zusätzliche Informationen zu dem Bereich, über dem die Hand oder der Finger schwebt, auf
- **Pinch-Geste auf dem Stoff ausführen:** Wählt eine Aktion aus, führt eine Selektion aus oder wählt ein Objekt auf dem Bildschirm aus
- **Einen Finger über den Stoff bewegen:** Verschiebt ein Objekt passend zur Bewegung oder entfernt dieses
- **Den Stoff berühren:** Analog zum Mausklick

Auch dieses Stoff-Display ist an sich interaktiv. Allerdings wird auch hier eine Berührung nicht durch den Stoff selbst, sondern durch ein zusätzliches, externes Gerät in einer bestimmten Umgebung erkannt. Das Stoff-Display kann somit auch nur in dieser speziellen Umgebung verwendet werden. Bei dieser Diplomarbeit geht es allerdings darum, dass durch eine Touch-Eingabe auf einem Stoff ein mobiles, intelligentes Gerät gesteuert werden soll. Insofern sollte die Berührungserkennung nicht von einer bestimmten Umgebung abhängig sein.

2.1.4. Intelligente Textilien

In diesem Abschnitt werden zuerst die Grundlagen von berührungsempfindlichen Textilien erläutert. Hierzu gehören Informationen zur Herstellung und den verwendeten Materialien, sowie der Waschbarkeit. Anschließend werden verwandte Arbeiten vorgestellt, welche auf berührungsempfindlichen Textilien basieren. Abschließend werden geeignete Positionen für die Verwendung von berührungsempfindlichen Textilien an der Kleidung betrachtet.

Herstellungsprozess und verwendete Materialien

Mit Hilfe von leitfähigen Garnen können berührungssempfindliche Textilien entwickelt und direkt in die Kleidung integriert werden [PO97, PORG00]. Zur Herstellung berührungssempfindlicher Stoffe werden Gewebe aus metallischer Seide, leitfähige metallische Garne, sowie unterschiedliche Sensoren verwendet.

Post et al. haben unter anderem einen berührungssempfindlichen Stoff erstellt, welcher aus insgesamt drei Stoffschichten besteht [PORG00]. Die erste Stoffschicht enthält Streifen aus höchst leitfähigem metallischen Gewebe, welche parallel zueinander in Zeilen angeordnet sind. Die zweite Schicht besteht aus einem Nylon-Netz und ist nicht leitend. Die dritte Stoffschicht enthält wiederum Streifen aus höchst leitfähigem metallischen Gewebe, jedoch werden die Streifen diesmal parallel zueinander in Spalten angeordnet. Sowohl die einzelnen Zeilen als auch die einzelnen Spaltenstreifen sind mit Elektroden und dem Mikrocontroller verbunden. Erfolgt eine Berührung an einer Stelle, an der sich die Streifen aus höchst leitfähigem metallischen Gewebe kreuzen, so geraten die Streifen an dieser Stelle miteinander in Kontakt und es fließt kurzzeitig Strom.

Außerdem haben Zhou et al. einen ähnlichen berührungssempfindlichen Stoff entwickelt [ZCSL14]. Auch dieser Stoff besteht aus drei Stoffschichten. Allerdings wird bei diesem Stoff ein konstanter Stromfluss ermöglicht und die Lokalisierung der Berührungen sowie das Messen des ausgeübten Drucks erfolgt ausschließlich aufgrund von Widerstandsmessungen.

Die dazugehörige Elektronik des Sensorstoffs wird im Rahmen dieser Diplomarbeit verwendet. Auf die genaue Funktionsweise wird daher ausführlich in Kapitel 4.1 eingegangen. Schneegass et al. haben diesen Stoff auf Höhe des Ellenbogens in ein Langarmshirt integriert und können damit die Armhaltung des Benutzers bestimmen [SHZ⁺15]. Diese Armhaltung kann dann zur Eingabe für Applikationen, wie etwa bei Spielen, verwendet werden.

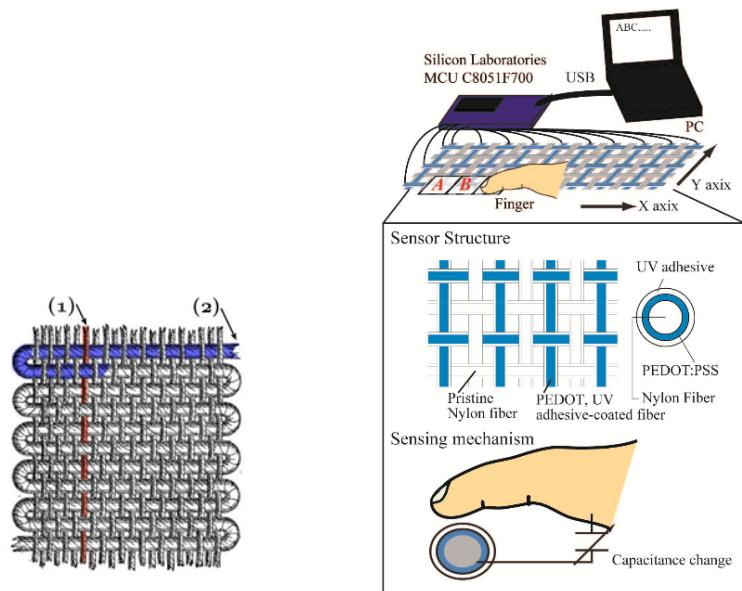
Auch die Firma Eleksen vertreibt einen einen berührungssempfindlichen Stoff namens ElekTex, welcher auf einem ähnlichen Prinzip basiert [Ele]. Allerdings bestehen die beiden äußeren Schichten bei diesem Stoff aus durchgängig leitfähigem Material. Durch das Messen der auftretenden Spannungen zwischen den beiden äußeren Schichten kann die Position der Berührung genau ermittelt werden. Durch das Messen des auftretenden Widerstandes bei Stromfluss zwischen den beiden äußeren Schichten leitenden Materials kann auch der Druck der Berührung bestimmt werden. Wird der Stoff nur leicht berührt, so tritt ein relativ hoher Widerstand auf. Bei steigendem Druck der Berührung nimmt der auftretende Widerstand ab.

Google und der Jeanshersteller Lewis Strauss sind derzeit dabei berührungssempfindliche Stoffe in Kleidung zu integrieren [Heia, Goo]. Die ersten fertigen Produkte hierzu sollen im Jahr 2016 auf den Markt kommen.

Takamatsu et al. haben eine Tastatur aus Stoff mit leitfähigen Polymer-beschichteten Fasern entwickelt [TIY⁺11]. Hierzu werden Nylon-Fasern mit leitfähigen Polymer-beschichteten Fasern verwebt. Die verwendeten Polymer-beschichteten Fasern bestehen aus PEDOT:PSS und sind am Rand UV-härtend verklebt. Als Kettfäden (siehe Abbildung 2.9(a)) werden Polymer-beschichtete Fasern und Nylon-Fasern verwendet, welche dann wiederum mit Schussfäden (siehe Abbil-

2. Grundlagen und verwandte Arbeiten

dung 2.9(a)) aus Polymer-beschichteten Fasern und Nylon-Fasern verwebt werden, sodass die Struktur einer Tastatur entsteht. Die Kettfäden und Schussfäden aus Polymer-beschichteten Fasern werden an den Mikrocontroller angeschlossen, welcher mit einem PC verbunden ist, um die Texteingaben auszuwerten. Wie bei den oben beschriebenen Stoffen, wird durch eine Berührung ein Stromfluss zwischen den beiden äußereren Schichten ermöglicht. Durch Auswerten des beteiligten Kettfadens und Schussfadens wird die Position der Berührung bestimmt. Der Aufbau dieser Stoff-Tastatur ist auch in Abbildung 2.9(b) dargestellt.



(a) Vorgehen beim Weben Schussfäden (2, blau) werden durch die Kettfäden (1,rot) verwebt. Quelle: [Wikb]

(b) Aufbau der Sensoren für eine Tastatur aus Stoff. Quelle: [TIY⁺11]

Abbildung 2.9.: Abbildungen zur Herstellung einer Tastatur aus Stoff

Mit leitfähigen Garnen können elektrische Stickereien entwickelt werden, welche bei Berührungen genauso wie Buttons reagieren und somit zur Interaktion genutzt werden können [PORG00]. Diese elektrischen Stickereien können mit Hilfe von normalen Stickmaschinen am Stoff angebracht werden und werden mit angenähten Elektroden und einem Mikrocontroller verbunden. Berührungen können durch Kapazitätsmessungen erkannt werden. Ein Beispiel für elektrische Stickereien ist in Abbildung 2.10 dargestellt.

Waschbarkeit

Eine wichtige Frage bei der Erstellung und Verwendung von Kleidung mit berührungsempfindlichen Bereichen ist auch die Waschbarkeit dieser Stoffe. Damit diese Stoffe überhaupt waschbar



(a) Jacke mit aufgestickter Handytastatur zum Erzeugen von MIDI-Musik.

(b) Mikrocontroller als Gegenstück der Stickerei

Abbildung 2.10.: Elektronische Stickerei und das dazugehörige Gegenstück für eine Jacke mit aufgestickter Handytastatur zum Erzeugen von MIDI-Musik. Quelle: [PORG00]

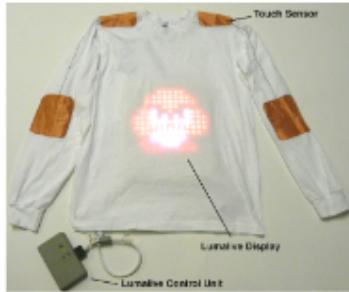
sind, ist es wichtig, dass die dazugehörige Elektronik abgenommen werden kann. Bei dem von Post et al. entwickelten berührungsempfindlichen Stoff wird die Elektronik beispielsweise mit Hilfe von abnehmbaren Greifern am Stoff befestigt, sodass die Waschbarkeit gewährleistet ist [PORG00]. Zeagler et al. haben sich in einer Studie ausführlich mit der Waschbarkeit von berührungsempfindlichen Stoffen beschäftigt [ZGAS13]. Innerhalb der Studie wurden Stoffe mit beschichteten leitfähigen Fäden sowie Stoffe aus gemischten Garnen, die aus leitfähigem und nicht leitfähigem Polyester bestehen, insgesamt zehn Mal mit warmem Wasser in der Waschmaschine gewaschen und nach den einzelnen Waschgängen wurde die Funktionalität überprüft, sowie die Veränderung des Widerstands dokumentiert. Das Ergebnis dieser Studie zeigt, dass für leitende Linien, wie sie bei elektrischen Stickereien verwendet werden, besser dicke und somit leitfähigere Fäden verwendet werden sollen. Falls für die Anwendung ein möglichst geringer Widerstand benötigt wird, sollte leitfähige Tinte an der Oberfläche der leitfähigen Fäden hinzugefügt werden.

Anwendungen mit intelligenten Textilien

Cheng et al. haben Shirts mit Display und berührungsempfindlichen Bereichen für ein Fangspiel "TagURIt" entwickelt [CKV11]. Hierbei soll der Fänger die Person fangen, welche sich am zweit nächsten zu ihm selbst befindet. Dazu werden die Positionen der beteiligten Personen getrackt. Die zweit nächste Person wird aufgrund einer dargestellten Figur auf dem Display erkannt. Zur Erkennung des Fangens werden berührungsempfindliche Bereiche aus Kupfer-Polyester an den Schultern und den Unterarmen verwendet, welche mit einem kapazitiven Touchsensor verbunden sind. Die verwendeten Shirts sind in Abbildung 2.14 dargestellt.

Schiphorst et al. haben einen Rock mit berührungsempfindlichen Textilien entwickelt, der sowohl in der Lage ist Berührungen zu erkennen, als auch dem Benutzer lokales Feedback

2. Grundlagen und verwandte Arbeiten



(a) Vorderseite des verwendeten Shirts mit Display auf Brusthöhe und berührungsempfindlichen Bereichen an den Schultern und den Ellenbogen.



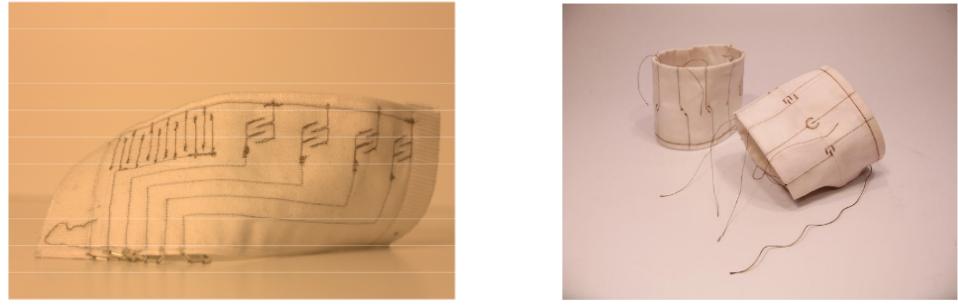
(b) Rückseite des verwendeten Shirts mit Display auf Brusthöhe und berührungsempfindlichen Bereichen an den Schultern und den Ellenbogen. Am Rücken ist ein kapazitiver Touchsensor angebracht, der mit den berührungsempfindlichen Bereichen verbunden ist.

Abbildung 2.11.: Ansicht des Shirts von TagURIt, Quelle: [CKV11]

zu den getätigten Interaktionen zu geben [SJL05]. Für den Oberrock verwenden Schiphorst et al. einen berührungsempfindlichen Stoff, der wie der berührungsempfindliche Stoff von Post et al. aufgebaut ist [PORG00]. Um dem Benutzer schnell Feedback geben zu können, sind im Unterrock mehrere Vibratoren und Lüfter integriert. Die Elektronik, die Energieversorgung und ein tragbarer Computer, welcher mit einem Server kommuniziert, um die Interaktionen auszuwerten, können in den großen Taschen des Rocks verstaut werden. Post et al. haben eine Jacke entwickelt, die elektronische Stickereien auf der Brust in Form einer Handytastatur hat [PORG00]. Auf der Rückseite der Stickereien werden der Mikrocontroller, die Lautsprecher, sowie die Batterieversorgung angeschlossen. Über die Tastatur kann Musik (Noten, Akkorde, Rhythmen) durch Eingabe im MIDI-Schema erzeugt werden. Die Jacke wird in Abbildung 2.14 dargestellt.

Bhardwaj und Garg haben ein Multi-Touch-Pad mit elektronischen Stickereien entwickelt, welches in Abbildung 2.12(a) dargestellt ist [BG]. Um Fehleingaben zu vermeiden muss zuerst der linke Bereich mit den Paaren aus vertikalen Linien berührt werden, bevor die vier rechten Touchbuttons verwendet werden können. Diese Touchbuttons können auch als Slider genutzt werden. Nur für Aktionen, welche sofort ausgeführt werden sollen, wie beispielsweise das Ablehnen eines Anrufs, ist keine vorherige Aktivierung der Buttons erforderlich. Außerdem können unterschiedliche Symbole als elektronische Stickereien verwendet werden. Beispiele hierfür sind in Abbildung 2.12(b) zu sehen.

Komor et al. untersuchen die Verwendung von elektronischen Stickereien zur Single Toucheingabe und zur Multi-Toucheingabe [KGC⁺09]. Hierfür haben Komor et al. zwei Schultergurte entwickelt (siehe auch Abbildung 2.13). Der erste Schultergurt verwendet drei Buttons zur



(a) Touch-Pad, welches Berührungen mit elektronischen Stickereien erkennt

(b) Unterschiedliche Symbole aus elektronischen Stickereien

Abbildung 2.12.: Entwickelte elektronische Stickereien, Quelle: [CKV11]

Eingabe. Eine Interaktion wird ausgelöst, sobald eine Berührung an einem der aufgestickten Buttons erfolgt. Der zweite Schultergurt hingegen enthält vier Buttons. Bei diesem Schultergurt wird eine Interaktion nur ausgelöst, wenn der oberste Button berührt, gleichzeitig ein anderer Button betätigt wird und zwei Sekunden zuvor kein weiterer Button berührt wurde. Diese beiden Eingabekonzepte wurden in einer Studie miteinander verglichen. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass für die Ausführung der Interaktion bei dem Schultergurt mit vier Buttons erkennbar mehr Zeit benötigt wird, jedoch die Genauigkeit bei der Ausführung dieser Interaktion besser ist.



Abbildung 2.13.: links: Schultergurt zur Interaktion mittig: Vier aufgestickte, elektronische Buttons zur Interaktion. Der oberste Button muss immer zusammen mit einem der anderen drei Buttons berührt werden, damit die Eingabe zulässig ist. rechts: Drei aufgestickte, elektronische Buttons zur Interaktion. Jeder Button kann einzeln berührt werden um eine Interaktion auszuführen. Quelle: [KGC⁺09]

Holleis et al. haben für eine Benutzerstudie unterschiedliche Prototypen entwickelt um einen MP3-Player durch die Verwendung von berührungsempfindlichen Stoffen zu steuern [HSP⁺08]. Unterstützt werden dabei die Aktionen Abspielen starten/stoppen, vorherigen bzw. nächsten Titel abspielen, die Lautstärke leiser oder lauter stellen. In die Handytasche, welche in Abbildung 2.14(a) zu sehen ist, sind 5 berührungsempfindliche Bereiche integriert, welche dunkelblau

2. Grundlagen und verwandte Arbeiten

hervorgehoben sind. In Abbildung 2.14(b) ist ein Handschuh mit physischen Buttons auf der Innenseite zu sehen, mit denen der MP3-Player gesteuert werden kann. Ein weiterer Prototyp besteht aus einem Rock, an dem seitlich auf Kniehöhe unterschiedliche Arten von Buttons aufgestickt sind. Verwendet wurden hierzu gut sichtbare Buttons mit entsprechenden Symbolen, weniger gut sichtbare Buttons, die als Ornamente dargestellt werden, sowie vollständig unsichtbare und nur tastbare Buttons. Diese verwendeten Buttons sind in Abbildung 2.14(c) dargestellt. Zuletzt haben Holleis et al. einen Helm mit großen Touchbereichen an den beiden Seiten des Helms entwickelt. Im Gegensatz zu den anderen Prototypen werden bei dem in Abbildung 2.14(d) dargestellten Helm nicht alle Funktionen des MP3-Players abgedeckt, da nur zwei Eingabebereiche vorhanden sind.



(a) Handytasche mit berührungsempfindlichen, dunkelblau dargestellten Bereichen zum Steuern eines MP3-Players.



(b) Handschuh mit berührungsempfindlichen physischen Buttons auf der Innenseite.



(c) Rock mit eingestickten Buttons. Zum Steuern werden unterschiedliche Arten von Buttons verwendet: sichtbare Buttons (links), Ornamente (mittig) sowie unsichtbare Buttons (rechts)



(d) Helm mit einem berührungsempfindlichen Bereich an der Seite.

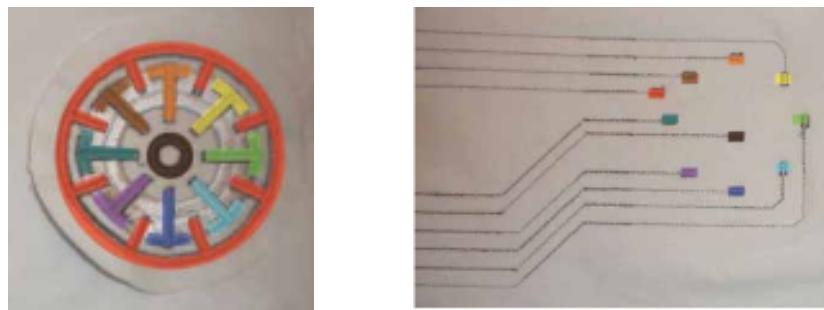
Abbildung 2.14.: Verschiedene Prototypen um einen MP3-Player über die Kleidung zu steuern.
Quelle: [HSP⁺08]

Hughes et al. haben einen berührungsempfindlichen Stoff entwickelt, welchen sie als länglichen, schmalen Streifen in die Kleidung integrieren können [HPC14]. Beispielsweise kann dieser bei der Naht am äußeren Oberschenkel angebracht werden (siehe auch Abbildung 2.15). Interagiert werden kann mit diesem Stoffstreifen durch Tippen sowie dem Entlangfahren am Streifen (von oben nach unten oder von unten nach oben).



Abbildung 2.15.: Aufgenähte Streifen zur Interaktion, Quelle: [HPC14]

Zeagler et al. haben ein textiles Scrollrad entwickelt, welches als JogWheel bezeichnet wird [ZGPS12]. Das JogWheel besteht aus 3 unterschiedlichen Stoffschichten. Die unterste Stoffschicht, welche in Abbildung 2.16(a) dargestellt ist, enthält Spuren aus leitfähigen Fäden und verbindet somit letztendlich das JogWheel mit der verwendeten kapazitiven und resistiven Sensortechnik. Die oberste Schicht enthält das aufgestickte JogWheel aus Abbildung 2.16(b). Zwischen diesen beiden Schichten befindet sich eine Trennschicht um Kurzschlüsse zwischen den einzelnen Spuren zu vermeiden. Mit dem inneren schwarzen Kreis des JogWheels kann der Benutzer schnell (und ziemlich unpräzise) durch die Inhalte scrollen. Durch den äußeren roten Kreis kann der Benutzer diese Inhalte jedoch auch präzise (und deutlich langsamer) scrollen. Durch Verwenden der aufgestickten, bunten Bereiche sind auch Tippeingaben und Eingaben durch Streichen möglich.



(a) Die oberste Schicht enthält das aufgestickte JogWheel.

(b) Unterste Schicht des JogWheels Die einzelnen Spuren sind mit der verwendeten Sensortechnik verbunden.

Abbildung 2.16.: Aufbau des JogWheels Abbildung 2.16(b) zeigt die unterste Schicht des JogWheels und Abbildung 2.16(a) zeigt die oberste bestickte Schicht des JogWheels. Diese beiden Schichten werden durch eine Zwischenschicht getrennt. Quelle: [ZGPS12]

2. Grundlagen und verwandte Arbeiten

Saponas et al. haben mit PocketTouch eine Möglichkeit entwickelt, mobile Geräte auch durch Stofftaschen hindurch zu steuern [SHB11]. Hierfür wird an der Rückseite des Geräts, in diesem Fall eines Smartphones, ein Gitter von Elektroden, welches als kapazitiver Multi-Touch Sensor dient, angebracht (siehe auch Abbildung 2.17). Dieser Multi-Touchsensor ist in der Lage Strichgesten zu erkennen, welche zur Ausführung bestimmter Kommandos oder zur Texteingabe verwendet werden können. Der Vorteil dieser entwickelten Texteingabe ist, dass der Benutzer keine eigenen Strichgesten zur Eingabe der einzelnen Buchstaben erlernen muss. Stattdessen werden genau die Strichgesten zur Eingabe der einzelnen Buchstaben verwendet wie sie der Benutzer aus der Druckschrift schon erkennt. Bei Buchstaben, die nicht mit einer einzelnen Strichgeste geschrieben werden können, werden diese aus den einzelnen Strichgesten zusammengesetzt. Dies ist möglich, da die Kombination dieser einzelnen Strichgesten im Alphabet eindeutig ist. Einzelne Buchstaben werden übereinander eingegeben und einzelne Wörter werden durch Eingabe des Zeichens > beendet.



Abbildung 2.17.: Mit den Geräten kann auch in Taschen interagiert werden, Quelle: [SHB11]

Karrer et al. nutzen in PinStripe beim Tragen in den Kleidungsstücken auftretende Falten zur Interaktion [KWHB10, KWL⁺11]. Die Kleidungsstücke enthalten leitfähige Fäden, welche parallel zueinander angeordnet sind. Die auftretenden Falten können vom Benutzer gegriffen und verformt werden (siehe Abbildung 2.18). Das Auseinander- oder Zusammenziehen dieser Falten wirkt sich genauso wie das Verschieben der Position eines Sliders bei Grafischen User Interfaces aus. Bei größeren Falten verändert sich dabei der anzupassende Wert deutlich stärker als bei kleineren Falten.

Pakanen et al. haben unterschiedliche Konzepte für die Texteingabe am Handgelenk entwickelt [PCH⁺14]. Eines dieser Konzepte verwendet ein Armband mit mehreren Stoffstreifen (siehe Abbildung 2.19). Der Benutzer kann an diesen ziehen und sie zur Eingabe verdrehen. Eine mögliche Anwendung wird in Abbildung 2.19 gezeigt. Solche Stoffstreifen können zwar leicht in Kleidungsstücke integriert werden, jedoch ist diese Art der Interaktion ungeeignet, da sich die Streifen beim Tragen der Kleidung verdrehen können, ohne dass vom Benutzer eine Eingabe beabsichtigt ist.

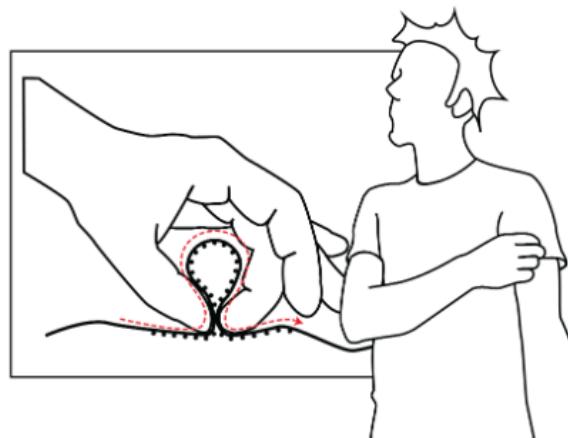


Abbildung 2.18.: Interaktionen können durch Zusammen- und Auseinanderziehen von Falten im Stoff getätigten werden., Quelle: [KWHB10, KWL⁺11]

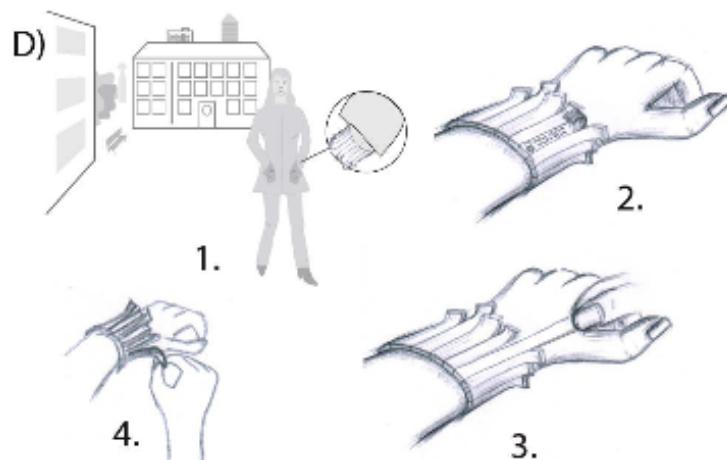


Abbildung 2.19.: 1.) Person geht aus dem Haus um sich mit jemandem zu treffen.
2.) Person erhält die Nachricht, dass sich die andere Person verspäten wird.
3.) + 4.) Die Person antwortet auf die Nachricht. Die Streifen am rechten Ende des Armbands können zur Texteingabe verwendet werden, in dem die Person an den Stoffstreifen zieht oder diese in unterschiedliche Richtungen verdreht.
Quelle: [PCH⁺14]

2. Grundlagen und verwandte Arbeiten

Rekimoto hat mit dem Gesture-Pad einen Prototyp für ein Eingabegerät entwickelt, welches im Inneren der Kleidung angebracht werden kann [Rek01]. Mit Hilfe dieses Gesture-Pads kann mit über Funk verbundenen, externen Geräten, wie beispielsweise einem MP3-Player, kommuniziert werden. Das Gesture-Pad selbst wird vom Benutzer über die Oberfläche der Kleidung aus gesteuert. So können durch das Berühren bestimmter Bereiche beispielsweise bestimmte Aktionen ausgelöst werden. Außerdem können Wischgesten verwendet werden, welche beispielsweise wie ein Slider genutzt werden können.

Heller et al. haben mit FabriTouch, ähnlich dem Gesture-Pad, eine Eingabemöglichkeit entwickelt, welche auf Touch-Pads basiert und die gleichen Eingabemöglichkeiten unterstützt, wie beispielsweise der Touchbildschirm eines Smartphones [HIWB14]. FabriTouch besteht aus zwei Touch-Pads, welche in eine Hose auf Höhe des Oberschenkels integriert und in Abbildung 2.20 dargestellt sind. Diese Touch-Pads unterstützen einfache Tipp- und Pointingeingaben genauso wie Gestenerkennung. Als Touch-Pad wird hier ein berührungssempfindlicher Stoff aus einer Schicht pietro-resistiven Stoffs und einer Schicht leitfähigen Materials, welche wieder von einem nicht leitfähigen Netz getrennt ist. Durch Messen der auftretenden relativen Spannungen an den Ecken des Touch-Pads können die Position und der ausgeübte Druck der Berührung bestimmt werden.



Abbildung 2.20.: An der Hose sind auf Höhe der Oberschenkel TouchPads für Pointing- Eingaben integriert. Quelle: [HIWB14]

Geeignete Positionen für Interaktionen am Körper

In diesem Abschnitt werden Studien beschrieben, welche sich mit geeigneten Positionen für berührungssempfindliche Bereiche am Körper beschäftigt haben. Thomas et al. haben in einer Studie untersucht, inwiefern sich die Körperhaltung des Benutzers und die Position der berührungssempfindlichen Bereiche seiner Kleidung auf die Interaktionen und die Benutzerfreundlichkeit auswirken [TGM⁺99, TGZM02]. Dazu unterschieden sie bei der Körperhaltung zwischen Stehen, Sitzen, Knien und Bauchlage (aufgestützt auf den Unterarmen). Als mögliche

Positionen für berührungsempfindliche Bereiche betrachteten Thomas et al. den Unterarm, den Oberarm, den Bauch, den Oberschenkel vorne und den Oberschenkel seitlich außen. Verwendet wurde für diese Studie ein Touch-Bildschirm, welcher als Touch-Pad-Maus verwendet werden sollte und an unterschiedlichen Körperpositionen angebracht werden konnte. Gemessen wurde die Ausführungszeit für die Interaktion sowie die Fehlerrate. Die Ergebnisse dieser Studie zur Körperhaltung besagen, dass die gemessene Ausführungszeit und Fehlerrate für Interaktionen im Stehen, Sitzen oder Knien kaum Unterschiede aufweist. Von Interaktionen in Bauchlage wird aufgrund der schlechten Ergebnisse abgeraten. Als Position für berührungsempfindliche Bereiche an der Kleidung ist laut den Ergebnissen der vordere Oberschenkel am besten geeignet. Geeignet sind auch die Positionen Unterarm, Oberschenkel Außenseite und Oberarm (bei Abwärtsbewegungen Richtung Hand). Am wenigsten geeignet sind die Positionen Rumpf und der Oberarm (bei Aufwärtsbewegungen Richtung Schulter) ab. Zudem sollten die Teilnehmer der Studie alle Körperpositionen anhand einer 7-Punkte Likert-Skala bewerten. Hier schnitten die Positionen Unterarm, Oberschenkel Außenseite und Oberschenkel vorne am besten ab. Auch die Position am Oberarm schnitt gut ab. Lediglich die Position am Bauch konnte die Teilnehmer der Studie nicht überzeugen. Auch die Körperhaltung wurde von den Teilnehmern mit einer 7-Punkte Likert-Skala bewertet. Bevorzugt werden die Körperhaltungen Sitzen und Stehen, gefolgt von der Körperhaltung Knien. Nicht überzeugen konnte die Körperhaltung der Bauchlage.

Speir et al. haben in einer Studie untersucht, ob die Benutzer es bevorzugen nur eine oder beide Hände zur Interaktion zu verwenden [SAK⁺14]. Dazu wurde die Toucheingabe über ein Armband am Unterarm mit der Toucheingabe mit Hilfe eines Handschuhs am Daumen verglichen. Das Armband enthält einen Kreis aus berührungsempfindlichem Stoff, welcher auf Eingaben an bestimmten Positionen, wie beispielsweise 3 Uhr, oder Gesten, wie das Umfahren des Kreises im oder gegen den Uhrzeigersinn reagiert. Der Handschuh hat einen berührungsempfindlichen Bereich am Daumen und reagiert ebenfalls auf Eingaben an bestimmten Positionen, wie oben, unten oder in der Mitte der Fingerkuppe, und auf einfache Wischgesten, wie beispielsweise auf der Fingerkuppe von oben nach unten fahren. Diese Studie ergab, dass die Teilnehmer beide Möglichkeiten zur Touch-Eingabe für sinnvoll erachteten. Allerdings bevorzugen sie die Eingabe über das Armband am Unterarm und somit eine Interaktion bei der ein Arm und die andere Hand benötigt werden. Zudem ist auch die Genauigkeit der Eingabe bei dieser Interaktionsform höher. Zudem kam heraus, dass Benutzer lieber Gesten als Touch-Eingaben an bestimmten Positionen verwenden. Die Teilnehmer der Studie hielten Gesten für leichter durchführbar und intuitiver. Zudem konnten sich die Teilnehmer diese Gesten auch besser merken als Touch-Eingaben an bestimmten Positionen.

Profita et al. untersuchten in ihrer Studie, inwiefern die Anwendung von Touch-Eingaben über die Kleidung in der Öffentlichkeit akzeptiert wird [PCG⁺13]. Um ein Ergebnis zu erhalten, welches auch kulturelle Einblicke berücksichtigt, wurde diese Studie sowohl in den USA als auch in Südkorea durchgeführt. Evaluiert wurde die Anwendung des JogWheels [ZGPS12] (siehe auch Abbildung Abb. 2.20 auf Seite 27) an den Körperpositionen am Schlüsselbein, seitlich am Oberkörper, an der Taille, an der Hosentasche, am Oberarm, am Unterarm und am Handgelenk. Für jede Körperposition wurde den Teilnehmern die Interaktion aus der Nähe (bei 30 – 45 cm Entfernung) und der Distanz (mit ca. 1,2 – 1,5 m Entfernung) gezeigt. Am geeignetsten hielten

2. Grundlagen und verwandte Arbeiten

sowohl die Teilnehmer aus den USA, als auch die Teilnehmer aus Südkorea die Position am Unterarm, da diese Position leicht zugänglich ist und ihre Lage auch nicht aufdringlich wirkt. Für ungeeignet hielten die Teilnehmer aus den USA, als auch die Teilnehmer aus Südkorea die Positionen am Schlässelbein und am Oberkörper, da Interaktionen an diesen Positionen unästhetisch aussehen und zudem diese Positionen auch schwer zu erreichen und von den Benutzern selbst nicht einsehbar sind. Insgesamt halten die Teilnehmer (USA und Südkorea) diese Art der Interaktion auch in Öffentlichkeit für sinnvoll. Interessanterweise werden Touch-Eingaben am Körper sowohl von den Teilnehmern aus der USA als auch von den Teilnehmern aus Südkorea in der Öffentlichkeit eher bei Männern als bei Frauen akzeptiert. In den USA hingegen werden Touch-Eingaben von Männern an Positionen auf Höhe der Gürtellinie oder der Hosentasche weniger akzeptiert, bei Frauen werden Touch-Eingaben im Bereich des Oberkörpers, also auch am Schlässelbein oder der Taille, weniger akzeptiert. Amerikaner halten diese Positionen für sozial sensibel. In Südkorea hingegen werden nur bei Frauen der Bereich am Oberkörper, der Taille, der Gürtellinie und den Hosentaschen weniger akzeptiert. Allgemein lässt sich also sagen, dass Unterarm und Handgelenk am besten sozial verträglich sind.

Dunne et al. haben unterschiedliche Aspekte zur Akzeptanz von Interaktionen über die Kleidung untersucht. [DPZ⁺14]. Bei den physischen Aspekten zur Lage von Interaktionsbereichen an der Kleidung des Menschen kamen sie zu ähnlichen Ergebnissen wie Proffita et al. [PCG+13]. In Abbildung 2.21 stellen Dunne et al. sowohl die möglichen Positionen als auch die sozialkritischen Positionen für Interaktionsbereiche am Körper des Menschen. Dabei unterscheiden sie auch zwischen den einzelnen Geschlechtern.

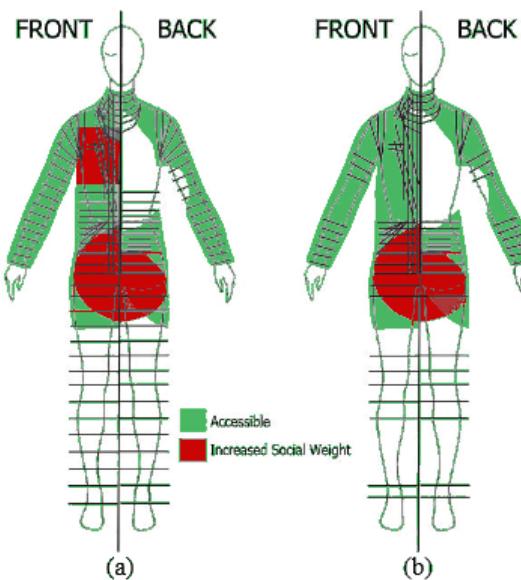


Abbildung 2.21.: Es werden getrennt nach Geschlechtern sowohl die möglichen Positionen (in grün) für Touch-Eingaben dargestellt, als auch die sozial-kritischen Positionen (in rot) dafür. (a) Frau (b) Mann Quelle: [DPZ⁺14]

Holleis et al. haben in ihren Studien die Benutzerfreundlichkeit und Anwendbarkeit von Touch-Eingaben über die Kleidung mit den von ihnen entwickelten Prototypen untersucht [HSP⁺08]. Insgesamt reagierten die Teilnehmer dieser Studien positiv auf die entwickelten Prototypen. Auch bei diesen Studien wurde festgestellt, dass Touch-Eingaben am Körper im Bereich des Oberkörpers oder sogar beim Tragen eines Schals im Gegensatz zu Touch-Eingabenflächen auf Hosen oder mit Hilfe von Armbändern oder separater Taschen nicht akzeptiert werden.

2.2. Interaktionen mit intelligenten Geräten

In den folgenden Abschnitten wird auf bereits existente Eingabemethoden für Smartwatches und Smartglasses eingegangen. Diese beschriebenen Methoden dienen jedoch nur zur Übersicht. Diese Diplomarbeit beschäftigt sich ausschließlich mit Eingabemethoden für Smartwatches oder Smartglasses, die auf berührungsempfindlichen Textilien basieren.

2.2.1. Interaktionen mit Smartwatches

In diesem Abschnitt werden mögliche Interaktionen mit Smartwatches neben der bekannten Touch- bzw. Wischgesten-Eingabe auf dem integrierten Touch-Display, sowie der möglichen Spracheingabe beschrieben. Dabei wird zuerst auf die Touch- und Gesten-Eingabe eingegangen. Anschließend werden mögliche Interaktionen bei Verwendung von Projektionen beschrieben. Abschließend wird auf Konzepte zur Texteingabe auf Smartwatches eingegangen.

Huang et al. erkennen bei der Touch-Eingabe auf dem Display der Smartwatch unterschiedliche Bereiche des Fingers [HTT⁺14]. Anhand der erkannten Bereiche, wie dem Fingernagel oder der Fingerkuppe, werden unterschiedliche Aktionen getriggert.

Ashbrook et al. verwenden virtuelle Buttons auf der Smartwatch zur Interaktion [ALS08]. Diese Buttons werden am Rand des Touch-Displays platziert.

Xiao et al. verwenden das Gehäuse der Smartwatch zur Interaktion [XLH14]. Interagiert wird hier durch mechanisches Verschieben, Drehen, Kippen, sowie Drücken des Gehäuses. Oakley et al. hingegen ermöglichen eine Interaktion durch Verwenden des Rands des Touch-Displays [OL14]. Der Benutzer kann hier unterschiedliche Touch-Gesten am Rahmen ausführen.

Butler et al. nutzen Infrarotabstandssensoren um Gesten neben der Smartwatch erkennen zu können [BIH08]. Auch Kim et al. können aufgrund von integrierten Abstandssensoren Gesten im Bereich über der Smartwatch erkennen [KHL07]. Lee et al. haben dieses System um Aktuatoren erweitert, was ihnen ermöglicht den Benutzern nach dem Erkennen einer Geste taktiles Feedback zu geben [LS09]. Harrison et al. hingegen haben einen Magnetometer in die Smartwatch integriert [HH09]. Trägt der Benutzer einen Magneten am Finger, kann er einerseits Gesten am Rand des Touch-Displays ausführen, andererseits kann er auch oberhalb des Touch-Displays durch unterschiedliche Fingerhaltungen Aktionen auslösen.

2. Grundlagen und verwandte Arbeiten

Verwenden von Projektionen

Laput et al. haben eine Smartwatch entwickelt, welche Buttons auf die Haut neben der Smartwatch projizieren kann [LXC⁺14]. Knibbe et al. hingegen haben eine Smartwatch entwickelt, die sowohl Touch-Eingaben auf der Handfläche als auch Handbewegungen erkennen kann [KMPB⁺14].

Texteingabe

Kim et al. haben eine QWERTY-Tastatur für kleine, mobile Geräte entwickelt [KSPL06]. Auf dem Display der Geräte wird hier eine vollständige Tastatur dargestellt. Durch Berühren des Displays wird der entsprechende Buchstabe eingegeben.

Oney et al. hingegen nutzen mit Zoomboard eine vollwertige QWERTY-Tastatur, bei der die Buchstaben nicht direkt bei der ersten Berührung ausgewählt werden [OHOW13]. Stattdessen werden die Buchstaben im Bereich der Berührung größer dargestellt um so eine akkurate Eingabe zu ermöglichen.

Leiva et al. haben die Eingabemethoden Callout und ZShift entwickelt [LSC⁺15]. Die Eingabemethode Callout orientiert sich an der bei Smartphones verwendeten und bekannten Methode zur Texteingabe, d.h. auf dem Touch-Display wird eine virtuelle QWERTY-Tastatur dargestellt. Drückt der Benutzer einen Buchstaben dieser Tastatur, wird oberhalb dieser Tastatur der entsprechende Buchstabe eingeblendet. Solange der Finger des Benutzers die Tastatur berührt, kann der Benutzer mit einer Touch-Bewegung die Eingabe für den Buchstaben verändern. Erst wenn der Benutzer den Finger anhebt, wird der Buchstabe übernommen. Die Eingabemethode ZShift funktioniert ähnlich wie die Methode Callout. Allerdings wird hier bei einer Berührung oberhalb der eingeblendeten Tastatur ein Ausschnitt der Tastatur vergrößert dargestellt. Dabei handelt es sich um den Bereich, in dem sich der aktuell ausgewählte Buchstabe befindet. Zudem wird der aktuell ausgewählte Buchstabe im dem vergrößerten Ausschnitt farbig hervorgehoben. Raghunath et al. hingegen haben eine frühe Version einer Smartwatch mit zusätzlichem Dreh-Knopf entwickelt, welche auch Texteingaben unterstützt [RN02]. Auf dem Display dieser Smartwatch werden die Buchstaben in zwei konzentrischen Kreisen angeordnet. Sobald der Drehknopf vom Benutzer gedreht wird, wird der vorherige bzw. nächste Buchstabe ausgewählt. Durch Drücken des Drehknopfs wird der aktuell ausgewählte Buchstabe eingegeben.

Funk et al. haben ein touch-sensitives Armband für Smartwatches entwickelt um Texteingaben zu ermöglichen [FSHS14]. Das Armband enthält einen Drucksensor und auf dem Armband werden die Buchstaben vertikal angeordnet. Das Display der Smartwatch wird zur Anzeige des bisher erstellten Wortes, sowie des aktuell zu tippenden Buchstabens verwendet. Das Armband unterstützt zwei Eingabemethoden: Eine Multi-Tap-Eingabe, sowie ein Single-Tap Eingabe. Bei der Single-Tap Eingabe berührt der Benutzer zur Eingabe eines Buchstabens das Armband und wählt mit einer Bewegung einen Buchstaben aus. Sobald der Benutzer den Finger anhebt, wird der letzte Buchstabe übernommen. Bei der Multi-Tap-Eingabe hingegen besteht die Eingabe eines Buchstabens aus zwei Teilen. Zuerst wählt der Benutzer mit der zuvor beschriebenen Methode erst eine Buchstabengruppe und anschließend den einzelnen Buchstaben aus.

Dunlop et al. haben eine Multi-Tap-Texteingabemethode entwickelt bei der das Display der Smartwatch zur Eingabe verwendet wird [DKD14]. Hierbei wird das Display in sieben Bereiche eingeteilt. In der Mitte des Displays wird der eingegebene Text dargestellt. Über und unter der Anzeige des Texts werden jeweils drei Multi-Tap-Buttons mit je 3 – 6 Buchstaben in alphabetischer Reihenfolge dargestellt. Zur Eingabe eines Buchstabens wählt der Benutzer einfach die dazugehörige Buchstabengruppe aus. Als Text wird jeweils das für die eingegebene Buchstabenfolge das höchst wahrscheinlichste Wort dargestellt. Durch Wischgesten können zum Beispiel Satzzeichen ausgewählt oder ganze Wörter vervollständigt werden.

Hong et al. haben mit *Splitboard* eine Eingabemethode entwickelt, bei der eine QWERTY-Tastatur in zwei Teile geteilt wird [HHIL15]. Mittels Wischgesten kann der Benutzer zwischen den einzelnen Teilen der Tastatur wechseln. Durch Tippen auf einen Buchstaben wird dann die Eingabe vorgenommen.

2.2.2. Interaktionen mit Smartglasses

In diesem Abschnitt werden mögliche Eingabemethoden für Smartglasses beschrieben. Bisher unterstützten Smartwatches neben simplen Tipp- und Wischgesten am Touch-sensitiven Bügel der Smartwatch auch die Spracheingabe zur Interaktion [Ack13].

Ham et al. verwenden zur Interaktion mit einer Smartwatch ein Armband mit einem Touch-Bereich [HHJ⁺14]. Auf diesem Touch-Bereich können Touch- und Pointing-Eingaben ausgeführt werden. Zudem können Drehbewegungen des Unterarms von diesem Armband erkannt werden und zur Interaktion genutzt werden.

Mayer und Sörös kombinieren zur Ausführung von Interaktionen unterschiedliche tragbare, mobile Geräte miteinander, beispielsweise eine Smartglass mit einer Smartwatch [MS]. So kann zum Beispiel über die Smartglass eine Musikanlage ausgewählt werden. Nach der Auswahl der Musikanlage wird das dazugehörige User Interface auf der Smartwatch dargestellt und der Benutzer kann darüber mit der Musikanlage interagieren.

Dobbelstein et al. haben einen interaktiven Gürtel entwickelt, der eine Smartglass steuern kann [DHR15]. Hierzu wird ein Nietengürtel verwendet, bei dem jede Niete an einen Touch-Board angeschlossen wird. Zur Interaktion kann entweder eine Niete gedrückt werden oder es können Wischgesten über mehrere Nieten hinweg ausgeführt werden.

Colaco hat eine Tiefenkamera entwickelt, die an mobilen Geräten, wie etwa einer Smartglass, befestigt werden kann und in der Lage ist 3D-Gesten zu erkennen und zur Interaktion zu verwenden [CKY⁺13]. Exemplarisch könnte also ein Menü mit Applikationen im Sichtbereich des Benutzers eingeblendet werden und der Benutzer könnte eine Applikation mit einer Pointing-Geste vor seinem Körper starten.

Yoon et al. haben ein texiles Eingabegerät mit drei aufgedruckten Buttons entwickelt, das am Zeigefinger getragen und mit dem Daumen bedient werden kann [YHNR15]. Um dieses Eingabegerät mit einer Smartglass zu nutzen, werden am Rand des Sichtfelds mögliche Aktionen eingeblendet. Drückt der Benutzer einen der aufgedruckten Buttons, wird die dazugehörige Aktion ausgeführt. Zusätzlich zur Button-Eingabe können vom Benutzer auch Wischgesten ausgeführt werden.

2. Grundlagen und verwandte Arbeiten

Grossman et al. nutzen zur Texteingabe bei Smartwatches den Touch-sensitiven Bereich am Bügel der Smartwatch [GCF15]. Hierzu wird eine QWERTY-Tastatur in das Sichtfeld des Benutzers projiziert. Diese Tastatur ist in unterschiedliche Bereiche mit jeweils drei Buchstaben aufgeteilt. Mittels Wischgesten wählt der Benutzer zur Texteingabe im ersten Schritt eine Gruppe von Buchstaben aus. Anschließend kann er einen der drei Buchstaben aus dieser Gruppe eingeben, in dem er eine Tippgeste im hinteren, im mittleren oder im vorderen Bereich ausführt. Anhand des Bereiches wird dann der dazugehörige Buchstabe eingegeben.

3. Konzept

Durch die Integration berührungsempfindlicher Stoffe in die Kleidung können externe, über Funk verbundene Geräte durch Berühren der Kleidung angesprochen und somit direkt manipuliert werden. Dies erweitert den Interaktionsraum für kleine, mobile Geräte mit begrenzten Eingabemöglichkeiten. Der Benutzer kann somit direkt per Toucheingabe mit Geräten interagieren, welche der Benutzer nicht direkt am Körper trägt oder in der Hand hält.

Der berührungsempfindliche Stoff soll hierbei direkt in die Kleidung des Benutzers am Unterarm integriert werden. Diese Position bietet sich an, da sie für den Benutzer in unterschiedlichen Körperhaltungen gut zugänglich ist. Zudem ist die Position am Arm auch bereits von mehreren Studien [TGZM02, TGM⁺99, SAK⁺14] als geeignet erkannt worden und Interaktionen über berührungsempfindliche Stoffe am Unterarm werden laut Studien [PCG⁺13, DPZ⁺14] auch sozial akzeptiert. Auf die Details zu diesen Studien wurde bereits in Kapitel 2.1.4 eingegangen.

Die Platzierung des Touch-Sensors ist in Abbildung 3.1 grafisch dargestellt. In die Kleidung des Benutzers ist am linken Unterarm ein berührungsempfindlicher Stoff integriert. Durch diesen berührungsempfindlichen Stoff kann der Benutzer mit diversen Geräten interagieren. Hierzu gehören unter anderem mobile, intelligente Geräten, welche der Benutzer am Körper oder bei sich tragen kann.



Abbildung 3.1.: Konzept: Interaktion mit Hilfe eines berührungsempflichen Stoffes am Arm des Benutzers

3. Konzept

Zur Interaktion sollen keine physischen Elemente, wie physikalische Buttons oder elektronischen Stickereien, verwendet werden. Stattdessen soll es möglich sein Gesten, wie Strichgesten, auf dem Stoff selbst auszuführen. Ein Beispiel für das Ausführen einer Strichgeste ist in Abbildung 3.2 dargestellt. Durch Eingabemethoden wie Unistroke [GR93] oder Graffiti [FBC⁺02] können so auch Texteingaben über die Kleidung direkt ausgeführt werden.

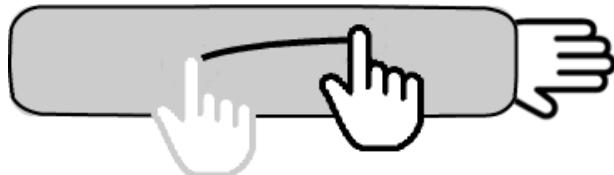


Abbildung 3.2.: Ausführen von Strichgesten bei berührungsempfindlicher Kleidung am Arm

Zudem ist denkbar, dass in die Kleidung integrierte berührungsempfindliche Stoffe zukünftig auch mit textilen Displays kombiniert werden können. Somit können dann auch von bestimmten Anwendungen Ansichten mit virtuellen Menüs oder Buttons auf der Kleidung dargestellt und zur Interaktion genutzt werden.

3.1. Anwendungsmöglichkeiten

In diesem Abschnitt wird zunächst auf Geräte eingegangen, mit denen der Benutzer über seine intelligente Kleidung interagieren könnte. Anschließend werden mögliche Anwendungen auf diesen Geräten beschrieben.

3.1.1. Geräte

Diese Eingabemöglichkeit ist vor allem für Geräte mit beschränkten Eingabemöglichkeiten interessant. Hierzu gehören Smartglasses, Smartwatches, Fitnessarmbänder und Public Displays. Außerdem bietet sich diese Eingabemöglichkeit auch für Geräte an, die sich nicht immer in der unmittelbaren Umgebung des Benutzers befinden. Hierzu gehören beispielsweise Home-Entertainment-Systeme oder Smartphones.

3.1.2. Anwendungsfälle

In dem folgenden Abschnitt wird auf mögliche Anwendungsfälle für Interaktionen mit intelligenter Kleidung eingegangen.

Unterwegs Musik hören

Viele Benutzer hören gerne Musik während sie unterwegs sind. Die meisten Anwender nutzen hierfür häufig ein eigenes, externes Gerät oder eine entsprechende Applikation auf ihrem Smartphone oder ihrer Smartwatch. Unterstützt werden von solchen Applikationen und Geräten standardmäßig die Aktionen STARTEN, PAUSIEREN und STOPPEN des Abspielens, sowie die Möglichkeit zum nächsten (bzw. vorherigen) Titel zu wechseln und die Lautstärke zu verändern. Möchte der Benutzer jedoch mit der Applikation bzw. dem externen Gerät interagieren, muss er die Interaktion bisher am Gerät selbst auslösen.

Durch die Verwendung von intelligenter Kleidung könnte der Benutzer die Anwendung jedoch zukünftig über spezielle Gesten auf der Kleidung, wie etwa auf einer Jacke, selbst steuern. In Abbildung 3.3 sind die Interaktionsmöglichkeiten einer solchen Applikation auf einer Smartwatch exemplarisch skizziert. Das Touch-Display der Smartwatch wird hier nur zur Darstellung der Informationen zur derzeit abgespielten Musik, wie beispielsweise dem Titel, dem Interpreten und dem dazugehörigen Cover verwendet (siehe Abbildung 3.3(a)).

Für diesen Anwendungsfall gibt es zur Interaktion zwei Umsetzungsmöglichkeiten: Eine Möglichkeit ist, dass der Benutzer mit der Applikation über zuvor definierte Strichgesten auf der intelligenten Kleidung interagieren kann. Eine denkbare Strichgeste zum Starten des Abspielens der Musik ist in Abbildung 3.3(b) dargestellt.

Zudem besteht die Möglichkeit ein textiles Display in die Kleidung zu integrieren. Auf diesem textilen Display kann auch eine virtuelle Ansicht der Applikation auf den Arm des Benutzers darstellt werden und der Benutzer kann die Applikation über die dargestellten vorhandenen virtuellen Buttons steuern (siehe Abbildung 3.3(c)).

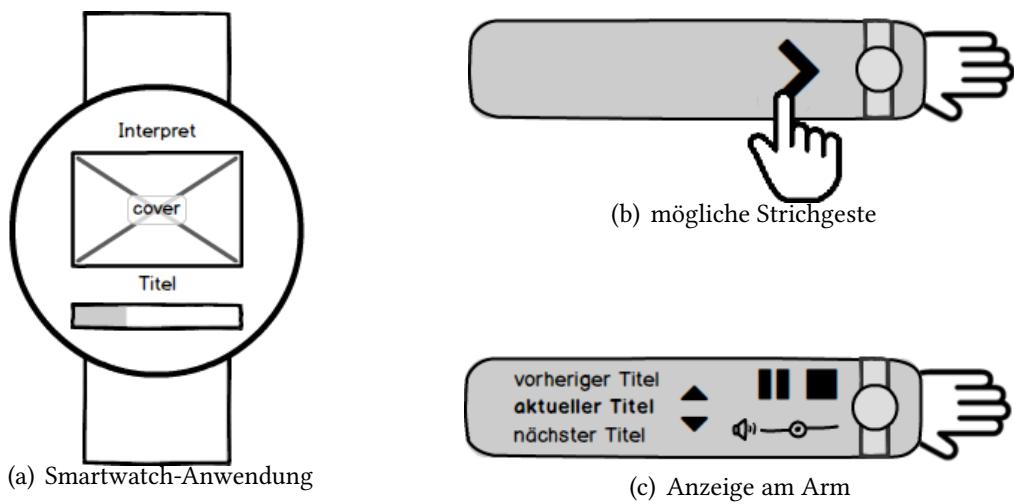


Abbildung 3.3.: Anwendung: MP3-Player

3. Konzept

Steuern des Telefons

Oft möchten Benutzer auch nur kurz mit ihrem Smartphone interagieren, zum Beispiel um in einer unpassenden Situation einen Anruf abzulehnen. Anstatt das Telefon erst in die Hand nehmen zu müssen, kann der Benutzer den Anruf auch durch das Ausführen einer schnellen und einfachen Strichgeste auf intelligenter Kleidung ablehnen. Eine mögliche Strichgeste dazu ist in Abbildung 3.4 zu sehen.

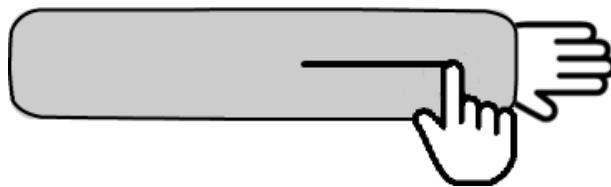


Abbildung 3.4.: Auf Anruf reagieren

Steuern einer Fitness-App

Viele Läufer verwenden während ihres Lauftrainings eine sogenannte Fitness-Applikation oder tragen eine spezielle Laufuhr. Die Fitness-Applikation soll während des Trainings die Eckdaten der erbrachten sportlichen Leistungen, wie die Trainingsdauer, die dabei zurückgelegte Strecke und verbrauchte Kalorien, sowie wie gesundheitliche Aspekte, wie den aktuellen Puls erfassen. Hierzu muss es möglich sein, das Training zu starten, dieses zu pausieren und wieder zu starten oder es letztendlich zu stoppen. Zudem soll es möglich sein, einen neuen Trainingsabschnitt zu beginnen um diesen separat auswerten zu können. Das Beginnen eines neuen Trainingsabschnitts wird in gängigen Fitness-Applikationen meistens auch als neue Runde bezeichnet.

Nutzt der Benutzer hierfür keine spezielle Laufuhr mit physischen Buttons, muss er beispielsweise bei Verwendung einer normalen Fitness-Applikation auf einer Smartwatch während dem Laufen virtuelle Buttons auf dem Touch-Display der Smartwatch betätigen.

Bei Verwendung von intelligenter Laufkleidung kann das doch vergleichsweise kleine Touch-Display der Smartwatch zur Darstellung der aktuellen Trainingswerte, wie der aktuellen Trainingdauer oder dem aktuellen Puls, verwendet werden (siehe Abbildung 3.5(a)). Interagieren kann der Benutzer auch bei diesem Anwendungsfall über passende Strichgesten direkt auf der Kleidung. Eine Beispielgeste zum Initiieren einer neuen Runde ist in Abbildung 3.5(b) zu sehen.

Dieser Anwendungsfall wird im Rahmen dieser Diplomarbeit als Prototyp implementiert und anschließend mit einer Benutzerstudie evaluiert. Die Details zur Implementierung und der Evaluierung werden in Kapitel 5 – Anwendungsfall: Steuern einer Fitness-Applikation durch Gestenerkennung beschrieben.

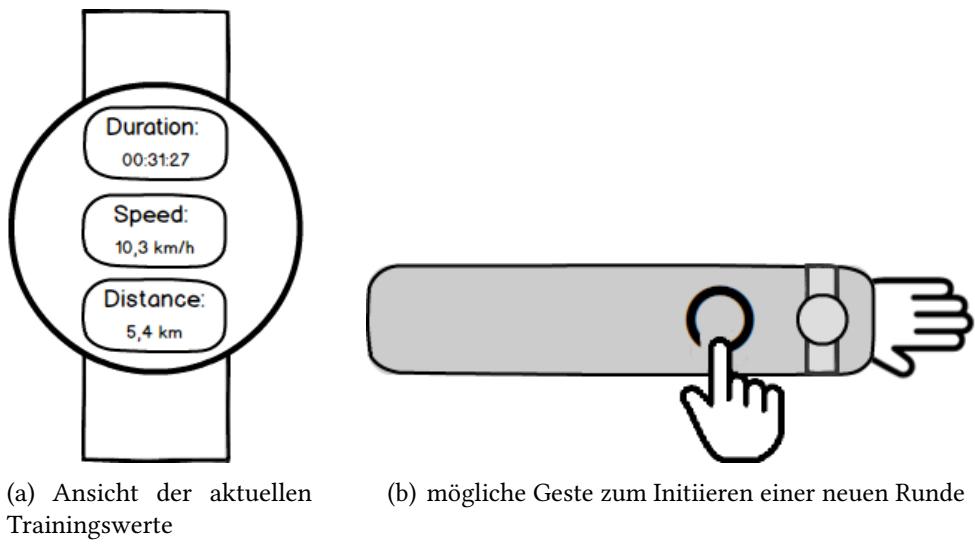


Abbildung 3.5.: Mögliche Anwendung als Fitness-Applikation

Authentifizierung mittels Identifikation

Sobald neben berührungsempfindlichen Stoffen auch textile Displays, welche die Ansichten diverser Applikationen darstellen können, in intelligente Kleidung integriert werden, muss es auch möglich sein, dass der Benutzer sich über seine intelligente Kleidung authentifizieren kann. Mobile Geräte wie Smartphones oder Smartwatches verwenden zur Authentifizierung meistens Pin-Codes oder sogenannte Pin-Muster. Für die Authentifizierung über intelligente Kleidung ist das Eingeben eines Passworts oder Musters vor allem in der Öffentlichkeit ungeeignet.

Stattdessen kann eine Identifikation zur Authentifizierung verwendet werden. Zur Identifikation eignen sich vor allem biometrische Daten des Benutzers, wie dem Fingerabdruck, einer Gesichts- oder Stimmenerkennung [PMWP00]. Holz et al. nutzen das kapazitive Touch-Display eines Smartphones um eine Identifikation von unterschiedlichen Körperteilen des Benutzers, wie etwa einem Ohr oder einem Finger, zu ermöglichen [HBK15]. Analog zum Touch-Display des Smartphones könnte auch der berührungsempfindliche Bereich in der Kleidung zur Authentifizierung mittels Identifikation verwendet werden. Zur Identifizierung sollte der Benutzer dann mit einer Hand seinen Arm umfassen. Dieser Vorgang ist auch in Abbildung 3.6 dargestellt.



Abbildung 3.6.: Identifizieren mit intelligenter Kleidung

3. Konzept

Auch dieser Anwendungsfall wird als Prototyp implementiert und evaluiert. Auf die Details dazu wird in Kapitel 6 – Anwendungsfall: Identifikation von Handdaten eingegangen.

Interagieren mit Public Displays

Mit intelligenter Kleidung ist es nicht nur möglich mit eigenen, externen Geräten zu interagieren, sondern auch mit sogenannten Public Displays. Alt et al. haben mit Digifields eine digitale, öffentliche Pinnwand geschaffen [ASKS13]. Benutzer dieser Pinnwand können dort sowohl selber Nachrichten hinterlassen, als auch dort hinterlassene Nachrichten lesen und sogar auf ihr Smartphone übertragen lassen und somit dauerhaft lokal speichern.

Ähnlich dazu werden an Haltestellen und Bahnsteigen Public Displays verwendet, die vorbeigehende Personen auf besondere Veranstaltungen in der Umgebung hinweisen. Es ist also denkbar, dass auch diese Public Displays zukünftig interaktiv sind, sodass die Benutzer dieser Public Displays dort noch nicht gelistete Veranstaltungen eintragen oder für sich interessante Veranstaltungen inkl. möglicher Anfahrtsbeschreibung des öffentlichen Nahverkehrs, auf ihr externes Gerät kopieren können.

Wenn diese Public Displays interaktiv wären, könnten diese auch die Möglichkeit bieten, dass Benutzer mit ihrer intelligenten Kleidung auch mit dieser Anwendung interagieren können. Gerade im Winter würde dies die Interaktion zu diesen Public Displays erleichtern, wenn der Benutzer mit Jacke und Handschuhen bekleidet ist und nicht sein Smartphone aus der Tasche holen und einen Handschuh für die Interaktion ausziehen möchte.

Auch für diesen Anwendungsfall gibt es zwei verschiedene Umsetzungsmöglichkeiten. So besteht die Möglichkeit, dass der Benutzer beispielsweise für das Eintragen von neuen Veranstaltungen eine Gesten-basierte Texteingabemethode, wie Graffiti [FBC⁺02], verwenden kann.

Falls seine intelligente Kleidung auch ein textiles Display besitzt, könnte andererseits auf diesem eine Tastatur eingeblendet werden (siehe Abbildung 3.7) und der Benutzer könnte für die Texteingabe auch seine Kleidung verwenden.



Abbildung 3.7.: Texteingabe

4. Technologie

In diesem Kapitel wird auf die Technologie eingegangen, welche in dieser Diplomarbeit verwendet wird um Touch-Eingaben zu erfassen und auszuwerten. In den folgenden Abschnitten wird zuerst auf den verwendeten Sensor und den verwendeten Stoff, in welchem der Sensor integriert ist, eingegangen. Anschließend wird die Implementierung zur Verarbeitung der Sensordaten beschrieben.

4.1. Sensor

Der in dieser Diplomarbeit verwendete Sensor wurde von Zhou et al. am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz entwickelt [ZCSL14]. Bei dem Sensor handelt es sich im Prinzip um einen Drucksensor, welcher in Abbildung 4.1 dargestellt wird.

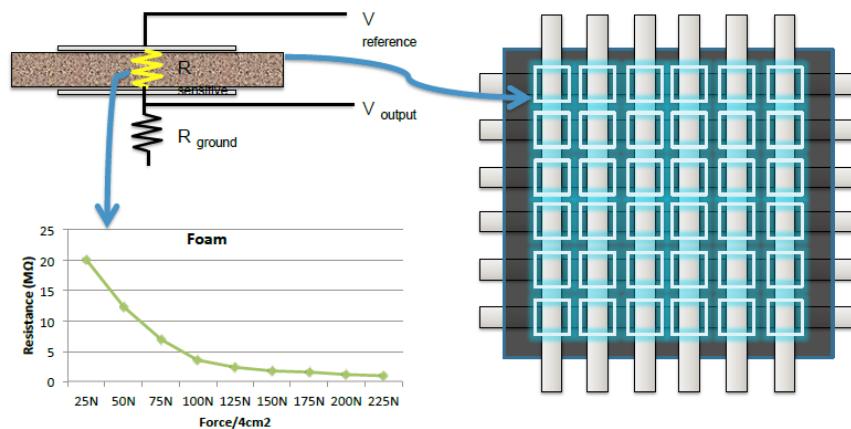


Abbildung 4.1.: Funktionsweise des Sensors

Die Elektronik des Sensors wird über Flachbandkabel mit einem speziellen Stoff verbunden, welcher aus insgesamt drei Schichten besteht. Die beiden äußeren Schichten bestehen aus einem nicht leitfähigem Material, das mit parallelen Streifen aus leitfähigem Material bedruckt ist. Diese beiden äußeren Schichten werden so angeordnet, dass die leitfähigen Streifen letztendlich orthogonal zueinander ausgerichtet sind und eine Matrixform bilden. Diese beiden Schichten werden durch eine Zwischenschicht getrennt, die aus einem Material besteht, dass zwar

4. Technologie

leitend ist, jedoch einen relativ hohen Widerstand bildet. Der Widerstand nimmt allerdings bei vertikalem Druck an genau der Stelle stark ab, an der dieser Druck ausgeübt wird. Durch Widerstandsmessungen zwischen den einzelnen Zeilen und Spalten der äußeren Schichten, können der ausgeübte Druck und somit auch Berührungen erkannt und lokalisiert werden. Der Sensor kann also Berührungen an genau den Stellen erkennen, an denen sich die Streifen aus leitfähigem Material der beiden äußeren Schichten kreuzen.

Die Architektur des Sensors ist in Abbildung 4.2 zu sehen. Der Sensor wird über USB / virtuellem COM-Port mit einem PC oder Laptop verbunden. Der Sensor unterstützt jeweils 32 Streifen leitfähigen Materials auf den äußeren Schichten des Stoffs und kann somit für bis zu 1024 Punkte Druckwerte erkennen. Die Aktualisierungsrate des Sensors liegt bei 50 Hz.

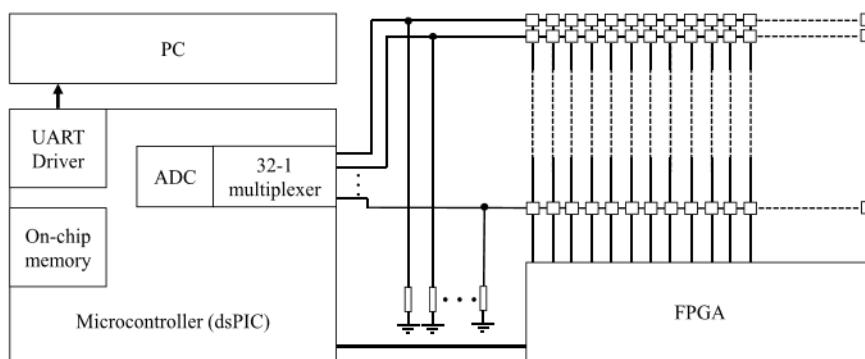


Abbildung 4.2.: Architektur des Sensors

Bei dem von Zhou et al. verwendeten Sensorstoff [ZCSL14] enthält jeder Zentimeter einen Streifen leitfähigen Materials. Der Stoff hat somit eine Größe von $32 \times 32 \text{ cm}^2$. Insbesondere für die Gestenerkennung als auch für die angestrebte Authentifizierung mittels Identifikation ist es jedoch wichtig, dass der Stoff den Bereich am Unterarm möglichst optimal ausfüllt und alle Kreuzungspunkte in diesem Bereich liegen. Bei einem erwachsenen Menschen beträgt der Umfang eines Unterarms am Handgelenk mindestens 14 cm und am Ellenbogen mindestens 26 cm. Zudem hat der Unterarm eines Erwachsenen mindestens eine Länge von 20 cm. Aus diesem Grund wurde im Rahmen dieser Diplomarbeit ein eigener Stoff analog zum Originalstoff entwickelt. Als Zwischenschicht wird dasselbe Material verwendet wie beim originalen Stoff. Für die beiden äußeren Schichten wird ein Baumwollstoff verwendet. Auf den Baumwollstoff werden jeweils im Abstand von 2 mm mit doppeltem Klebeband 3 mm breite Streifen aus leitfähigem Gewebe aufgeklebt. Da die Streifen per Hand zugeschnitten und auf den Stoff aufgeklebt wurden, kann der oben angegebene Abstand leicht variieren. Diese Varianz ist jedoch für die Auswertung der Daten nicht relevant und kann daher vernachlässigt werden. Um den Stoff mit der Elektronik des Sensors verbinden zu können, werden wiederum Flachbandkabel verwendet. An die Enden der Flachbandkabel werden sogenannte Kettenverbinder angelötet und anschließend mit leitfähigem Garn an die leitfähigen Streifen der beiden äußeren Schichten angenäht, da auf dem verwendeten leitfähigen Gewebe nicht gelötet werden kann. Um Kontakte zwischen den

einzelnen Streifen zu vermeiden und die Haltbarkeit der angenäherten Flachbandkabel durch Zugentlastung zu verbessern, werden die Kettenverbinder, sowie die einzelnen Kabel anschließend noch mit normalen nicht leitfähigem Garn an dem Stoff festgenäht. Zur weiteren Zugentlastung werden die Flachbandkabel umgeknickt und hinten auf den Stoff aufgeklebt.

Der Sensorstoff, welcher in dieser Diplomarbeit verwendet wird, ist in Abbildung 4.3 dargestellt. Zur Größeneinordnung liegt auf dem Stoff ein Quarter Dollar.



Abbildung 4.3.: Entwickelter berührungsempfindlicher Stoff mit Quarter Dollar zur Größen- einschätzung

4.2. Datenverarbeitung

Zum Empfang der Sensordaten wird der Sensor über USB an einen virtuellen COM-Port an einem Laptop angeschlossen. Die Verarbeitung der Sensordaten erfolgt in zwei Threads, welche asynchron kommunizieren. Der erste Thread fängt einkommende Pakete als SerialEventListener ab, überprüft die Paketdaten und speichert diese in einer Queue. Der zweite Thread überprüft, ob aktuell Pakete in der Queue vorhanden sind und arbeitet diese der Reihe nach ab. Dabei wandelt er den Inhalt der Paketdaten in eine Matrix um, und feuert anschließend ein SensorDataEvent ab, welches von möglichen Anwendungen abgefangen und verarbeitet werden kann. Dieser ganze Ablauf ist auch als UML-Sequenzdiagramm in Abbildung 4.4 dargestellt.

4. Technologie

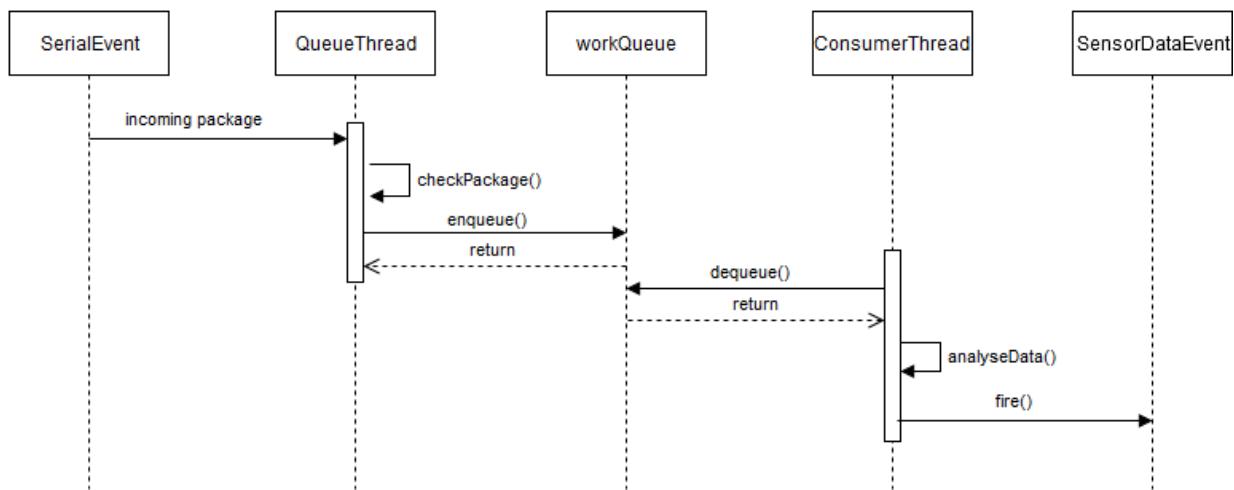


Abbildung 4.4.: Sequenzdiagramm zum Empfang der Sensor-Daten

Die vollständige Komponente zur Auswertung der Sensor-Daten inkl. Sensor und dem verwendeten Stoff ist in Abbildung 4.5 dargestellt.



Abbildung 4.5.: Aufbau des Systems

Eine Herausforderung bei der Auswertung der Sensordaten ist, dass die Daten stark verrauscht sind. Da die 3 Stoffschichten nur am Rand des Stoffes richtig fixiert werden können, liegen die Schichten teilweise relativ locker aufeinander. Dies führt zu einem andauernden Rauschen, welches durch die Lage des Stoffes bedingt ist. Die Lage des Stoffes wiederum verändert sich je nach Bewegung, Armhaltung oder letzter Berührung. Aus diesem Grund kann das Rauschen nicht durch gängige Filterverfahren, wie den Gleitenden Mittelwert oder einer anfänglichen Kalibrierung, eliminiert werden. Daher muss das Rauschen bei jeder Anwendungsentwicklung bedacht und gesondert behandelt werden. Auf die jeweilige Behandlung des Rauschen wird in den Implementierungskapiteln der jeweiligen Anwendungen eingegangen.

5. Anwendungsfall: Steuern einer Fitness-Applikation durch Gestenerkennung

In diesem Abschnitt wird die Implementierung, sowie die Evaluierung des Prototyps zur Entwicklung des in 3.1.2 – Steuern einer Fitness-App beschriebenen Anwendungsfalls zur Steuerung einer Fitness-Applikation auf einer Smartwatch durch eine Toucheingabe auf intelligenter Kleidung.

5.1. Implementierung

Das System zum Steuern einer Running-App auf einer Smartwatch durch Gestenerkennung besteht aus zwei Komponenten (siehe Abbildung 5.1).



Abbildung 5.1.: Aufbau des Systems

Die erste Komponente besteht aus dem Touch-Sensor, welcher bereits in Kapitel 4.1 beschrieben wurde. Der Sensor wird per USB mit einem Laptop verbunden, auf dem eine Java-Anwendung läuft, welche die Sensor-Daten auswerten und somit Gesteneingaben auf dem berührungssempfindlichen Stoff erkennen kann.

5. Anwendungsfall: Steuern einer Fitness-Applikation durch Gestenerkennung

Bei der zweiten Komponente handelt es sich um die Android Fitness-Applikation auf einer Smartwatch. Die beiden Komponenten kommunizieren über Funk miteinander. Da die Bluetooth-Empfangsreichweite der zu verwendenden Smartwatch AW 414.Go von Simvalley zu gering ist, agiert der Laptop als mobiler Hotspot und die Kommunikation erfolgt über TCP. Für einen Prototyp ist diese Art der Kommunikation zwischen dem Sensor, sowie der Smartwatch ausreichend. Für ein ausgereiftes Produkt sollte der Sensor funktionsfähig sein um direkt mit der Smartwatch kommunizieren können.

Die Fitness-Applikation soll die Eckdaten der erbrachten sportlichen Leistungen, wie beispielsweise die Trainingsdauer, die dabei zurückgelegte Strecke erfassen. Hierzu muss es möglich sein, das Training zu starten, dieses zu pausieren und neuzustarten oder zu stoppen. Zudem soll die Möglichkeit bestehen, einzelne Teilstrecken separat auswerten zu können, sodass auch eine neue Runde, d.h. ein neuer Trainingsabschnitt, initiiert werden kann. Die Fitness-Applikation nutzt das Touch-Display der Smartwatch nur zur Darstellung der aktuellen Trainingswerte. Die einzelnen Ansichten der Fitness-Applikation sind in Abbildung 5.2 dargestellt. Die Interaktion an sich erfolgt über Strichgesten auf dem berührungssempfindlichen Stoff. Sobald eine Geste von der Java-Applikation erkannt wurde, wird ein entsprechendes Kommando an die Fitness-Applikation gesendet. Sobald die Fitness-Applikation ein solches Kommando empfangen hat, erhält der Benutzer zusätzlich zur veränderten Ansicht der Fitness-Applikation auch auditives Feedback, welches ihm mitteilt, welche Aktion gerade ausgeführt wurde.

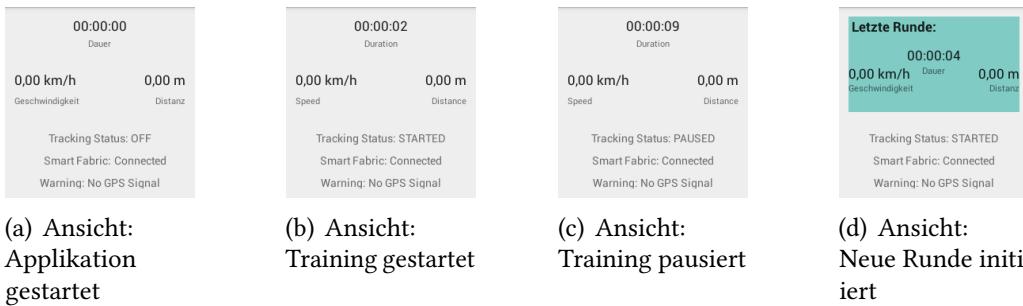


Abbildung 5.2.: Ansichten der Fitness-Applikation

In den folgenden Abschnitten wird genauer auf Details der Implementierung der Java-Anwendung zur Gestenerkennung eingegangen. Zuerst wird dabei auf das Detektieren von Strichgesten und anschließend auf die Erkennung von Gesten selbst eingegangen.

5.1.1. Strichgesten-Erkennung

Um Strichgesten detektieren zu können, muss zuerst eine Berührung auf dem berührungssempfindlichen Stoff selbst erkannt werden können. Funk et al. haben drei Möglichkeiten benannt um Berührungen bei Verwendung einer Thermokamera zu erkennen [FSB⁺15]. Funk et al. verwenden zur Berührungserkennung einerseits den wärmsten vorhandenen Punkt, sobald die

Temperatur dieses Punktes über einem bestimmten Schwellwert liegt. Außerdem verwenden Funk et al. eine eigene Background Subtraktion, bei der die Differenz von jedem Pixel im aktuellen Frame zu von einem kurz zuvor aufgenommenen Frame bestimmt wird. Liegt die größte Differenz zwischen zwei Pixeln der Frames über einem bestimmten Schwellwert, wird an genau diesem Pixel eine Berührung erkannt. Zuletzt nutzen Funk et al. das von der Thermokamera erzeugte Thermobild und bestimmen mittels des Frameworks OpenCV eine Background Subtraktion, bei der der Vordergrund vom Hintergrund getrennt wird. Anschließend bestimmen sie die Größen der Flächen auf dem im Vordergrund liegenden Bild. Falls die größte gefundene Fläche eine bestimmte Größe überschreitet, wird am Mittelpunkt der Fläche eine Berührung erkannt.

Im Prinzip können alle diese Ansätze auch für die Berührungserkennung bei berührungsempfindlichen Stoffen verwendet werden. Allerdings sind die Daten, welche der verwendete Sensor liefert stark verrauscht. Dazu kommt, dass die Daten auch durch die aktuelle Lage des Stoffes beeinflusst werden. Wird der Stoff beispielsweise auf einem Holzbrett fixiert, so bleibt das Rauschen stetig unter einem bestimmten Schwellwert. In diesem Fall könnte somit auch eine Berührung analog zum Ansatz von Funk et al. durch Bestimmen des am meisten gedrückten Punktes im aktuellen Frame, sobald dieser Maximalwert einen bestimmten Schwellwert überschreitet. Wird der Stoff jedoch beispielsweise am Körper getragen und mittels Klettverschluss befestigt, kann es vorkommen, dass der Stoff durch die Spannung am Arm an einer Stelle ungeschickt fällt und an dieser Stelle ein leichter Knick auftritt. Dies kann dann einen vertikalen Druck auf die Zwischenschicht des Stoffes auslösen, sodass an einer Stelle eine Berührung erkannt werden könnte, obwohl dort real gar keine Berührung vorliegt.

Aus diesem Grund muss der Algorithmus zum Erkennen einer Berührung nicht nur den maximalen Druckwert betrachten, sondern auch die Druckwerte der acht direkt benachbarten Punkte. Der Algorithmus sucht hier also zuerst nach den Punkten mit den meisten Nachbarn, deren Druckwerte auch über einem bestimmten Schwellwert liegen. Anschließend entscheidet er sich für den Punkt, der den höchsten Druckwert besitzt. Eine Berührung wird genau dann erkannt, wenn nicht nur der Druckwert des Punktes an sich den Schwellwert überschreitet, sondern dieser Schwellwert auch von einer bestimmten Anzahl von Nachbarn überschritten wird.

Nachdem nun einzelne Berührungen erkannt werden können, kann nun die Erkennung von Strichgesten betrachtet werden. Solange auf dem Stoff keine Berührung vorliegt findet keine Erkennung für Strichgesten statt [WW11]. Sobald der Stoff berührt wird, beginnt die Erkennung für eine Strichgeste. Solange weiterhin eine Berührung vorliegt, wird die Erkennung für die Strichgeste fortgesetzt. Erst wenn der Stoff nicht mehr berührt wird, endet die Erkennung für die jeweilige Strichgeste und die Strichgeste wird analysiert. Wenn die erkannte Strichgeste als eine zuvor definierte Geste erkannt wird, wird die zugehörige Aktion ausgeführt. Strichgesten im zweidimensionalen Raum können somit als Automat mit insgesamt vier Zuständen definiert werden (siehe Abbildung 5.3).

Bei der Implementierung muss allerdings auch an dieser Stelle wieder bedacht werden, dass für diesen Prototyp der Stoff am Arm des Benutzers getragen wird. Während der Ausführung einer Strichgeste kann es vorkommen, dass der Druck mit dem der Benutzer die Geste ausführt

5. Anwendungsfall: Steuern einer Fitness-Applikation durch Gestenerkennung

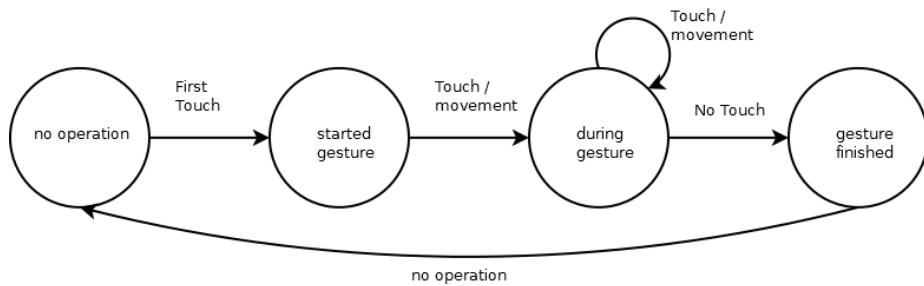


Abbildung 5.3.: Beschreibung einer Strichgeste

nachlässt. Dies kann einerseits auftreten, wenn der Benutzer Gesten im äußeren Bereich des Unterarmes ausführt. Das hängt mit der Krümmung des Arms zusammen. Andererseits kann es vorkommen, dass der Benutzer während der Ausführung der Geste zum Beispiel bei einer Richtungsänderung unbewusst den Finger anhebt. In beiden Fällen kann es vorkommen, dass die Druckwerte unter den Schwellwert abfallen. Um zu verhindern, dass die Strichgestenerkennung zu früh abgebrochen wird und nur einzelne Teile einer Strichgeste erkannt werden, wird nun zusätzlich eine zeitliche Toleranz eingeführt. Erst wenn nach einer bestimmten Anzahl weiterer Frames keine erneute Berührung erkannt wurde, wird die Erkennung für Strichgesten beendet und es wird ein STROKEDETECTEDEVENT gefeuert, welches nun zur Gestenerkennung oder Gestendefinierung verarbeitet werden kann (siehe auch Algorithmus 5.1).

Algorithmus 5.1 Algorithmus zur Strichgesten-Erkennung

```
1 public void analyzeData(Double[][] doubles) {
2     double max = 0.0d;
3     int x = 0, y = 0, contactPoints = 0;
4     int thresholdValue = 1500000;
5     int thresholdContactPoints = 6;
6
7     // Search for the hottest point with the most contact points around
8     for (int row = 0; row < 32; row++) {
9         for (int column = 0; column < 32; column++) {
10             double currentValue = doubles[row][column];
11             int curContactPoints = 0;
12             if ( currentValue < thresholdValue ) {
13                 continue;
14             }
15             if (( row == 0 ) || (row == 31) || (column == 0) || (column == 31)) {
16                 continue;
17             }
18             for (int neighborRow = -1; neighborRow <= 1; neighborRow++) {
19                 for (int neighborColumn = -1; neighborColumn <= 1; neighborColumn++) {
20                     if (doubles[row + neighborRow][column + neighborColumn] >= thresholdValue)
21                     {
```

```

22         curContactPoints++;
23     }
24   }
25 }
26 if ( curContactPoints > thresholdContactPoints ) {
27   if (( curContactPoints > contactPoints ) ||
28     (( curContactPoints == contactPoints ) && ( currentValue > max)) {
29     max = currentValue ;
30     contactPoints = curContactPoints ;
31     x = column;
32     y = row;
33   }
34 }
35 }

36

37
38 // Is there a contact ?
39 if (max > thresholdValue) {
40   if (! this. strokeStarted ) {
41     this. startStroke () ;
42   }
43   this.addPointToStroke(x, y);
44   this.time = 0;
45 } else {
46   if (! this. strokeStarted ) {
47     return;
48   }

49
50 // Add tolerance to avoid parts of stroke gestures
51 // Terminate the stroke after 10 invalid frames
52 this.time++;
53 if (this.time > 10) {
54   this. finishStroke () ;
55 }
56 }
57 }

```

5. Anwendungsfall: Steuern einer Fitness-Applikation durch Gestenerkennung

In Abbildung 5.4 wird das Vorgehen zur Strichgestenerkennung als UML-Sequenzdiagramm dargestellt.

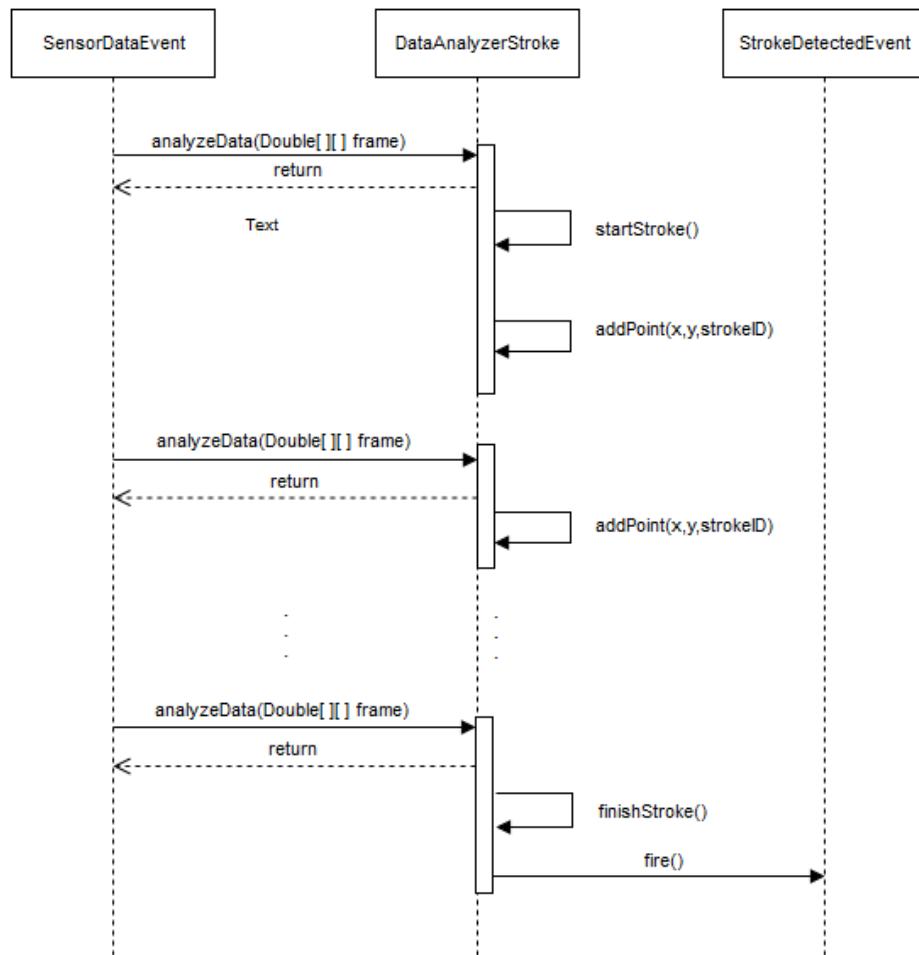


Abbildung 5.4.: Sequenzdiagramm zur Erkennung einer Strichgeste

In Abbildung 5.5 sind jeweils vier erkannte Strichgesten für unterschiedliche Gesten dargestellt. Hier erkennt man relativ deutlich, dass sich die Eingaben der einzelnen Gesten stark unterscheiden. Dies hängt einerseits vom ausgeübten Druck während der Eingabe als auch von der dabei angewandten Geschwindigkeit ab. Umsso schneller eine Geste ausgeführt wird, umso weniger Punkte können vom Sensor erkannt werden.

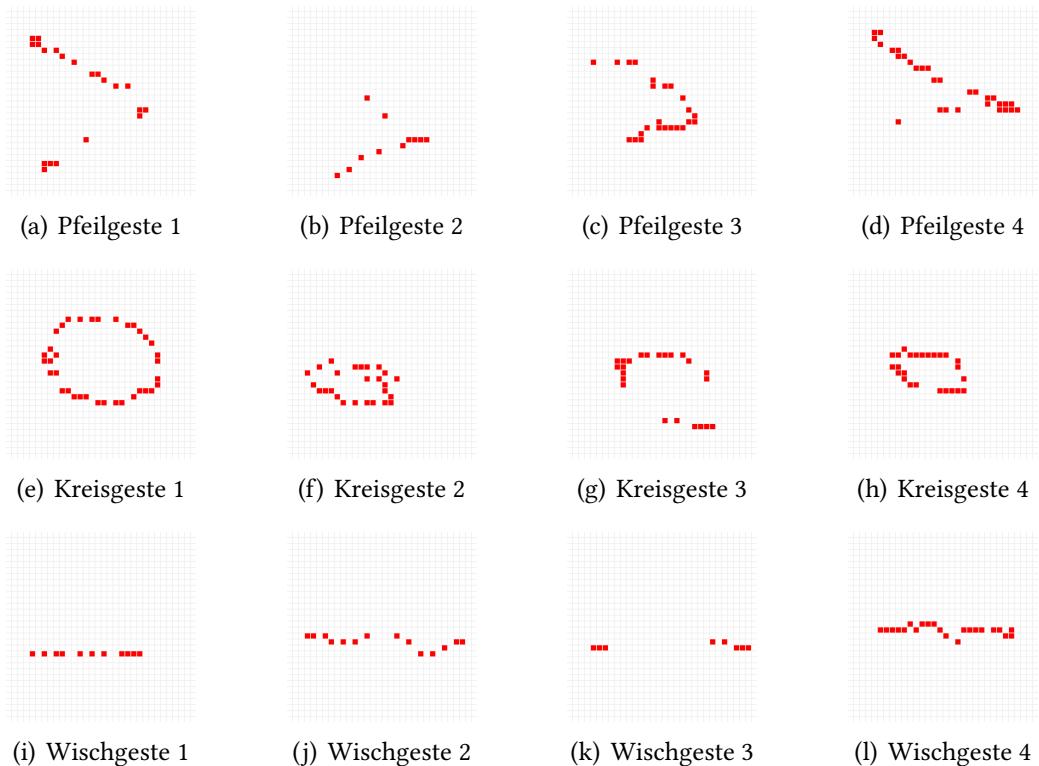


Abbildung 5.5.: Beispiele für ausgeführte Strichgesten

5.1.2. Gestenerkennung

Die Java-Anwendung zur Gestenerkennung besteht aus zwei Modi. Im Modus des Gesture Trainers erfolgt die Definition der einzelnen Gesten. Im Modus der Gestenerkennung erfolgt dann die eigentliche Gestenerkennung und somit auch die Interaktion mit der Fitness-Applikation auf der Smartwatch. In den folgenden Abschnitten wird genauer auf die beiden Modi der Anwendung eingegangen. Anschließend wird die grobe Architektur der Anwendung zur Gestenerkennung erläutert. Schlussendlich werden dann die verwendeten Algorithmen zur Gestenerkennung vorgestellt.

Modus: Gesture Trainer

Im Modus Gesture Trainer können Gesten definiert werden. Ein definiertes Gesteobjekt besteht aus einem Namen, einer Aktion, die ausgeführt werden soll, nachdem diese Geste erkannt wurde, sowie einer Menge von Vorlagen dieser Geste. Zudem gehört zu einem Gesteobjekt eine boolesche Variable anhand derer unterschieden wird, ob es ausreichend ist, wenn diese Geste anhand ihrer Form erkannt wird, wenn beispielsweise nur eine geometrische Form, wie ein Kreis, erkannt werden soll, oder ob auch die Richtung der Geste relevant ist, wie etwa bei Wischgesten.

5. Anwendungsfall: Steuern einer Fitness-Applikation durch Gestenerkennung

Zudem können in diesem Modus auch weitere Vorlagen zu bestehenden Gesten hinzugefügt werden. Alle Gesten und Vorlagen werden im XML-Format gespeichert. Zudem kann im Modus Gesture Trainer festgelegt werden, ob neben Strichgesten auch das kurze Antippen des Stoffes mit einem Finger als Geste erkannt werden soll und welche Aktion bei Erkennung der Tippgeste ausgeführt werden soll. Die Benutzeroberfläche des Gesture Trainers ist in Abbildung 5.6 zu sehen. Neben der zuletzt erkannten Strichgeste wird dort auch der letzte Frame als Heatmap dargestellt.

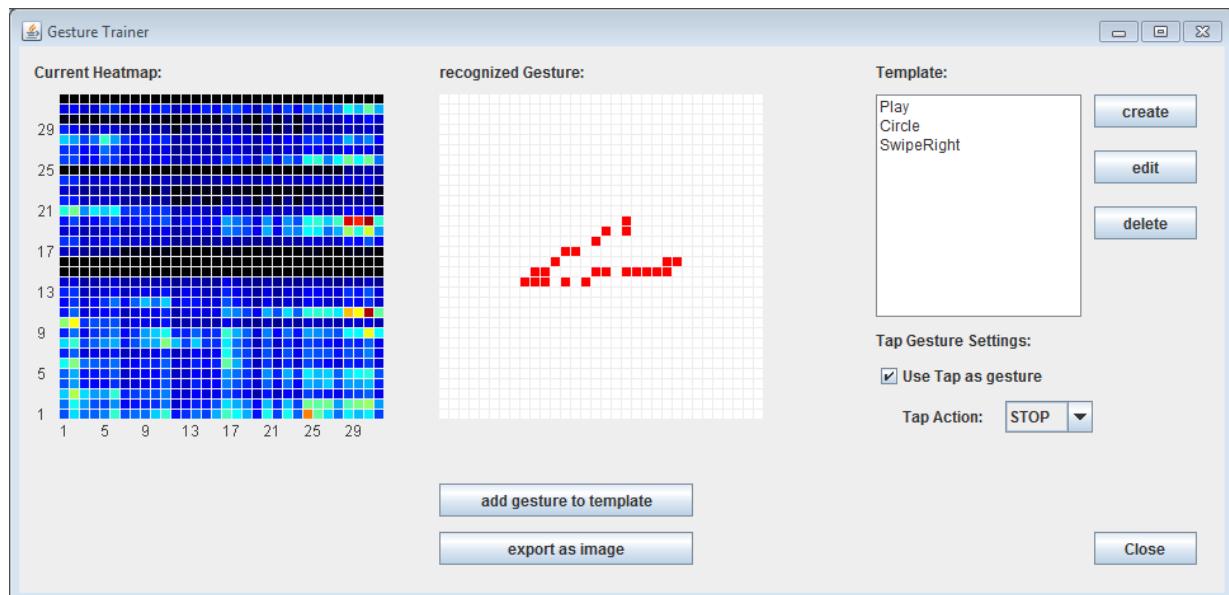


Abbildung 5.6.: Modus: Gesture Trainer zum Definieren von Gesten und Erstellen von weiteren Vorlage zu bereits existenten Gesten

Modus: Gestenerkennung

Im Modus der Gestenerkennung werden zu Beginn erst alle zuvor definierten Gesten geladen und mit den zu verwendenden Algorithmen der Gestenerkennung vorbehandelt. Dadurch müssen die zuvor definierten Vorlagen nicht jedes Mal während der Gestenerkennung aufbereitet werden. Sobald nun eine Strichgeste detektiert wurde, wird die Gestenerkennung gestartet. Dabei wird die detektierte Strichgeste nacheinander von allen verwendeten Algorithmen zur Gestenerkennung überprüft. Dabei wird die detektierte Strichgeste falls nötig von dem entsprechenden Algorithmus aufbereitet und anschließend mit allen Vorlagen der Gesten desselben Typs verglichen. Sobald ein Algorithmus die detektierte Strichgeste als definierte Geste erkannt hat, wird die Gestenerkennung abgebrochen und die auszuführende Aktion wird an das entsprechende Gerät gesendet. Der Ablauf der Gestenerkennung ist auch als Aktivitätsdiagramm im Anhang dargestellt.

Architektur

Die Klasse *GestureRecognitionManager* verwaltet die verwendeten Algorithmen zur Gestenerkennung, initialisiert den Sensordaten-Empfang, initialisiert die Klasse *TemplateManager*, sowie die Klasse *DataAnalyzerStroke* zur Erkennung von Strichgesten. Zudem kann in der Klasse *GestureRecognitionManager* eingestellt werden, ob der Modus zum Definieren und Trainieren von Gesten oder der Modus zur Gestenerkennung gestartet werden soll. Außerdem findet die Gestenerkennung in der Klasse *GestureRecognitionManager* statt.

Alle verwendeten Algorithmen zur Gestenerkennung leiten sich von der abstrakten Klasse *GestureRecognitionAlgorithm* ab. Somit können leicht neue Algorithmen integriert oder existierende Algorithmen ausgetauscht werden. Alle diese Klassen sind im Anhang als UML-Klassendiagramm dargestellt.

Verwendete Algorithmen

Zur Gestenerkennung werden meistens sogenannte Template Matching Verfahren angewendet, d.h. eine detektierte Strichgeste wird auf Ähnlichkeiten mit zuvor definierten Gesten untersucht. Zu den bekanntesten Algorithmen zur Gestenerkennung gehören die Algorithmen der \$-Familie [VAW12, WWL07]. Mit den Template Matching Verfahren der \$-Familie können Gesten schnell erkannt werden, zudem sind diese Verfahren auch noch leicht zu verstehen und zu implementieren.

Erkennen von Richtungsabhängigen Gesten

Wobbrock et al. haben mit dem Algorithmus \$1 einen Algorithmus entwickelt, welcher in der Lage ist Strichgesten zu erkennen. Hierzu werden sowohl die Vorlagen als auch die zu erkennenden Strichgesten-Kandidaten erst mal aufbereitet um diese anschließend miteinander vergleichen zu können. Dazu werden alle Strichgesten zuerst in 64 äquidistante Punkte aufgeteilt, anschließend werden die Punkte auf die X-Achse rotiert und auf eine bestimmte Größe skaliert. Letztendlich werden die Punkte dieser Strichgeste dann so verschoben, dass sich der Mittelpunkt am Ursprung befindet. Nach dieser Aufbereitung kann nun die Ähnlichkeit zwischen den Vorlagen der Strichgesten und dem Strichgesten-Kandidaten bestimmt werden.

Der Algorithmus \$1 ist jedoch im Original nicht in der Lage 1D-Gesten, wie beispielsweise Wischgesten, zu behandeln. Zudem ist dieser Algorithmus sowohl rotations-unabhängig als auch richtungs-unabhängig.

Aus den Gründen wurde der Algorithmus abgewandelt. Nach wie vor werden die Strichgesten in 64 äquidistante Punkte aufgeteilt, allerdings entfällt das Rotieren der Punkte auf die X-Achse (siehe auch Algorithmus 5.2).

5. Anwendungsfall: Steuern einer Fitness-Applikation durch Gestenerkennung

Algorithmus 5.2 Algorithmus zur Aufbereitung der Strichgesten

```
1 @Override
2 public List<Point> preprocessing( List<Point> points ) {
3     List<Point> clonedPoints = points.clone();
4     clonedPoints = this.resample(clonedPoints);
5     clonedPoints = this.scaleTo(clonedPoints, Dollar1Recognizer.squareSize);
6     clonedPoints = this.translateTo(clonedPoints, new Point(0, 0));
7     return clonedPoints ;
8 }
```

Auch das Skalieren auf eine bestimmte Größe wurde beibehalten, jedoch werden die Punkte so verschoben, dass der erste Punkt der ausgeführten Strichgeste am Ursprung liegt (siehe auch Algorithmus 5.3).

Algorithmus 5.3 Algorithmus zur Translation der Strichgeste

```
1 private List<Point> translateTo ( List<Point> points , Point k) {
2     List<Point> newPoints = new ArrayList<Point>();
3     double cx = points.get(0).getX();
4     double cy = points.get(0).getY();
5     for ( Point p : points ) {
6         double qx = (p.getX() + k.getX()) - cx;
7         double qy = (p.getY() + k.getY()) - cy;
8         newPoints.add(new Point(qx, qy));
9     }
10    return newPoints;
11 }
```

Außerdem wurden sowohl eine minimale Höhe als auch eine minimale Breite für Bounding-Boxen eingeführt, sodass auch 1D-Gesten behandelt werden können (siehe auch Algorithmus 5.4).

Algorithmus 5.4 Algorithmus zur Berechnung der Bounding Box

```
1 public static Rectangle computeBoundingBox(List<Point> points) {
2     double minX =  $\infty$ , maxX = 0.0d, minY =  $\infty$ , maxY = 0.0d;
3     for ( Point p : points ) {
4         double x = p.getX();
5         double y = p.getY();
6
7         minX = (x < minX) ? x : minX;
8         maxX = (x > maxX) ? x : maxX;
9     }
10    return new Rectangle(minX, minY, maxX - minX, maxY - minY);
11 }
```

```

9  minY = (y<minY) ? y : minY;
10 maxY = (y>maxY) ? y : maxY;
11 }
12 double width = maxX - minX;
13 double height = maxY - minY;
14 height = (height==0) ? 0.1.d : height
15 width = (width==0) ? 0.1.d : width
16 return new Rectangle(minX, minY, width, height);
17 }

```

Die Ähnlichkeit zwischen zwei Strichgesten wird durch das Berechnen des Mittelwerts aller euklidschen Abstände zwischen den einzelnen Punkten der Strichgesten bestimmt (siehe auch Algorithmus 5.5).

Algorithmus 5.5 Algorithmus zur Ähnlichkeitsbestimmung zweier Strichgesten mit \$1

```

1 public Result recognize( List <Point> points , List <Template> templates) {
2     List <Point> clonedPoints = points .clone () ;
3     clonedPoints = this .preprocessing (clonedPoints) ;
4     Template foundTemplate = null;
5     double score = Double.MAX_VALUE;
6     for (Template template : templates) {
7         if (!template.isDirectionSensitive()) {
8             continue;
9         }
10        List <MapEntry> dataSets = template .getDataSetsPreprocessed () ;
11        for (int position = 0; position < dataSets .size () ; position++) {
12            double distance = this .pathDistance(clonedPoints,
13                dataSets.get(position).getValue());
14            if (distance < score) {
15                score = distance ;
16                foundTemplate = template ;
17            }
18        }
19    }
20    score = 1.0 - (score / HalfDiagonal);
21    if (foundTemplate != null) {
22        return new Result(foundTemplate, score) ;
23    } else {
24        return noResult;
25    }
26 }

```

5. Anwendungsfall: Steuern einer Fitness-Applikation durch Gestenerkennung

In Abbildung 5.7 sind in der ersten Reihe die Eingaben zu vier Wischgesten dargestellt, so wie diese bei der Ausführung der Strichgesten auf dem Stoff erkannt wurden. In der zweiten Reihe sind dieselben Eingaben als äquidistante Punktliste bestehend aus 64 Punkten abgebildet.

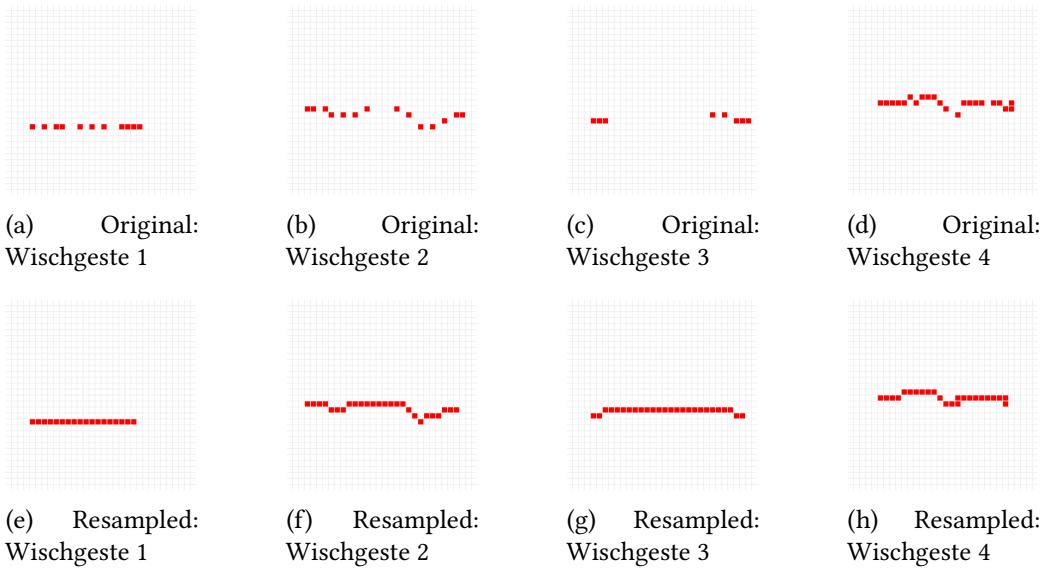


Abbildung 5.7.: Vergleich der originalen Eingaben von vier Wischgesten in der oberen Reihe zu den aufbereiteten Eingaben als äquidistante Punkte in der unteren Zeile

Erkennen von Richtungsunabhängigen Gesten

Vatavu et al. haben mit \$P einen Algorithmus entwickelt, der in der Lage ist auch Multi-Strichgesten-Eingaben zu erkennen [VAW12]. Auch bei diesem Algorithmus werden sowohl die Vorlagen als auch die zu erkennenden Strichgesten-Kandidaten zuerst aufbereitet, bevor Strichgesten miteinander verglichen werden können. Diesmal werden die Punkte der Strichgesten zuerst in äquidistante Punkte aufgeteilt, dann auf eine bestimmte Größe skaliert und anschließend so verschoben, dass sich der Mittelpunkt der Strichgesten am Ursprung befindet. Bei diesem Algorithmus werden die Punktlisten allerdings als Punktwellen betrachtet. Jeder Punkt aus einer Punktwolke wird dabei durch Anwenden des Ungarischen-Algorithmus [Kuh55] genau einen Punkt aus der zweiten Punktwolke zugeordnet. Anschließend wird die Summe der euklidschen Abstände zwischen diesen zugeordneten Punkten zwischen den beiden Punktwellen berechnet.

Bei der Anwendung dieses Algorithmus wurden Details verändert. So werden die Strichgesten in insgesamt 64 anstatt 32 äquidistante Punkte aufgeteilt. Außerdem wurde die Metrik zur Gestenerkennung verändert. Eine Strichgeste wird genau dann erkannt, wenn die Summe der euklischen Abstände zu den Punkten der Vorlage kleiner 7 ist (siehe auch Algorithmus 5.6).

Algorithmus 5.6 Algorithmus zur Ähnlichkeitsbestimmung zweier Strichgesten mit \$P

```

1 public Result recognize( List<Point> points, List<Template> templates) {
2     List<Point> clonedPoints = Utility . clonePointList ( points );
3     clonedPoints = this . preprocessing( clonedPoints );
4     double score = Double.MAX_VALUE;
5     double normalizedScore = 1.0;
6     Result result = noResult;
7     if ( points . size () < 5) {
8         return noResult;
9     }
10    for (Template t : templates) {
11        if (t.isDirectionSensitive()) {
12            continue;
13        }
14        List<MapEntry> dataSets = t . getDataSetsPreprocessed () ;
15        if ( dataSets != null) {
16            for (int position = 0; position < dataSets . size () ; position++) {
17                double d = this . greedyCloudMatch(clonedPoints, dataSets
18                    .get( position ) .getValue () );
19
20                normalizedScore = Math.max((7 - d)), 0.0d);
21                if (normalizedScore > 0) {
22                    normalizedScore = 1;
23                }
24                normalizedScore = Math.max(normalizedScore, 0.0d);
25                normalizedScore = Math.min(normalizedScore, 1.0d);
26                if ( score > d) {
27                    score = d;
28                    result = new Result(t, normalizedScore);
29                }
30            }
31        }
32    }
33    return result ;
34 }
```

Zudem wurde auch analog zu dem Algorithmus 5.4 bei der Berechnung der umgebenden Bounding Box eine Mindesthöhe und eine Mindestbreite eingeführt.

In Abbildung 5.8 werden die originalen Eingaben zweier unterschiedlicher Gesten mit jeweils vier Vorlagen, sowie den jeweiligen aufbereiteten Strichgesten als äquidistante Punkte dargestellt.

5. Anwendungsfall: Steuern einer Fitness-Applikation durch Gestenerkennung

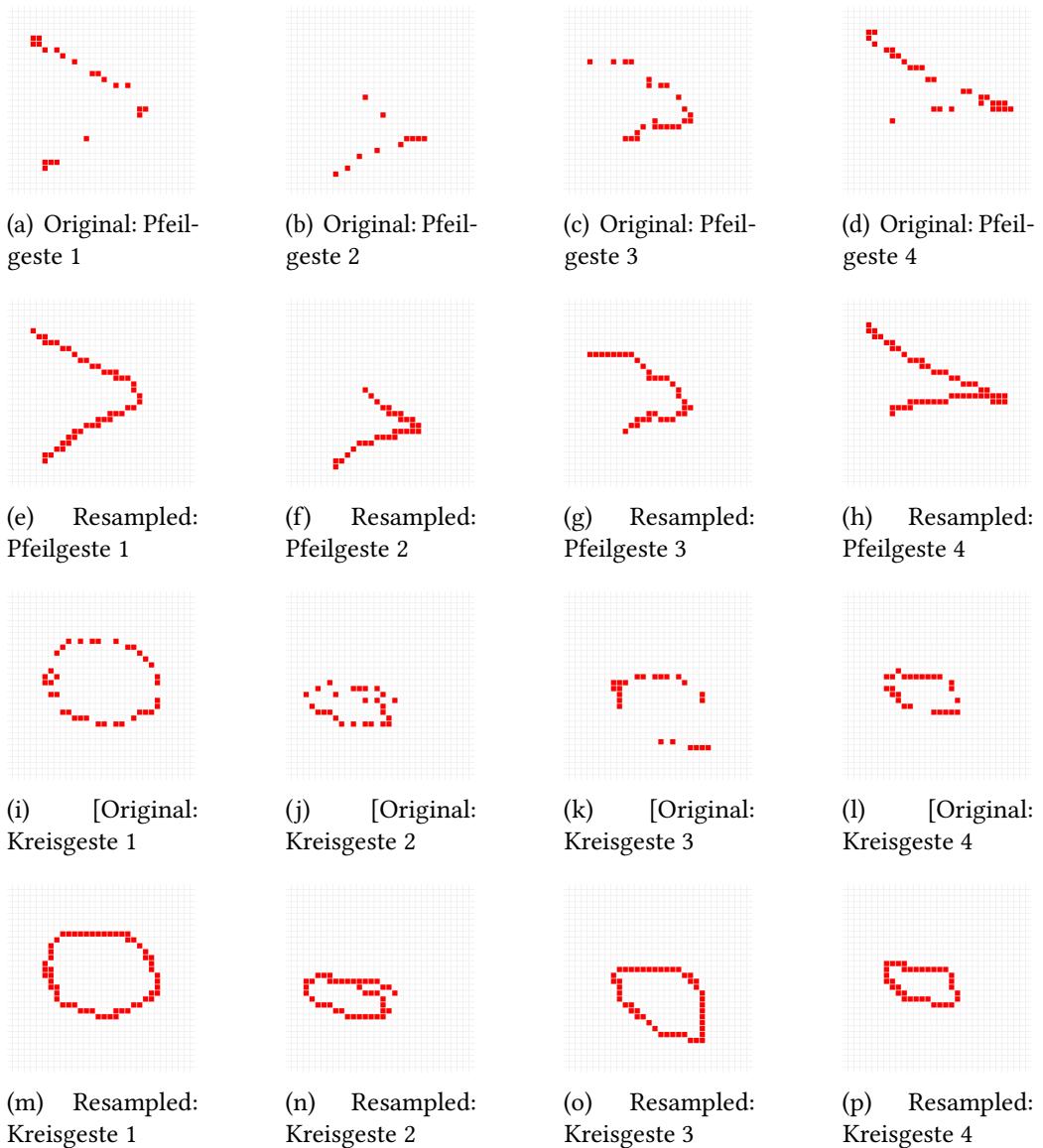


Abbildung 5.8.: Vergleich der originalen Eingaben von zwei Gesten mit jeweils vier Strichgesten in der ersten und dritten Reihe zu den aufbereiteten Eingaben als äquidistante Punkte in der zweiten und vierten Reihe.

Tippgeste mit einem Finger

Für die Erkennung einer Tippgeste mit einem Finger wurde ein eigener Algorithmus entwickelt. Im Gegensatz zu den anderen Gestenerkennungsalgorithmen kommt der Algorithmus zum Erkennen einer Tippgeste mit einem Finger ohne Gesten-Vorlagen aus. Um festzustellen, ob es sich bei dem Strichgesten-Kandidaten um eine Antippgeste handelt, wird für alle Punkte der euklidische Abstand zum Startpunkt der Strichgeste bestimmt. Nur wenn der euklidische Abstand aller Punkte zum Startpunkt kleiner als 2 ist, kann es sich um eine Tippgeste handeln. Um Fehleingaben zu vermeiden, welche durch ein sehr kurzes Streifen des Stoffes an einem Gegenstand oder das Anlehnen an einen Gegenstand ausgelöst werden könnten, wird noch überprüft, ob die Strichgeste aus mindestens 10 und maximal 50 Punkten besteht, was ca. einer Tippdauer von 0.2 – 1.0 Sekunden entspricht.

Der vollständige Algorithmus zur Erkennung der Tippgeste mit einem Finger ist in Algorithmus 5.7 dargestellt.

Algorithmus 5.7 Algorithmus zur Erkennung einer Tippgeste mit einem Finger

```

1 public Result recognize( List<Point> unfilteredList ) {
2     if ( ( unfilteredList . size () < 10) || ( unfilteredList . size () > 50)) {
3         return noResult;
4     }
5     Point point1 = unfilteredList . get (0) ;
6     for ( int position = 1; position < unfilteredList . size () ; position++) {
7         Point point2 = unfilteredList .get(position) ;
8         int distance = euclidDistance (point1, point2) ;
9         if ( distance > 2) {
10             return noResult;
11         }
12     }
13 }
14 return new Result("Tap", 1.0) ;
15 }
```

5.2. Evaluierung

Im Rahmen einer Nutzerstudie wurden zwei unterschiedliche Eingabemodalitäten für Smartwatches evaluiert. Pro Proband wurde die Studie auf ca. 30 – –45 Minuten ausgelegt, wobei jeder Teilnehmer zwei Eingabemodalitäten verwendet. Für die erste Eingabemodalität wird ein berührungsempfindlicher Stoff am Arm des Probanden verwendet, und die Interaktion findet mit Strichgesten-Eingaben auf dem Stoff direkt statt. Bei der zweiten Eingabemodalität werden Buttons auf dem Touch-Display der Smartwatch genutzt. Für beide Eingabemodalitäten wird der System Usability Scale [Bro96], sowie die User Experience mittels AttrakDiff Mini [HM10] bestimmt. Außerdem werden für beide Eingabemodalitäten die Durchführungszeiten, sowie die Fehlerrate für die jeweiligen Aufgaben gemessen. Für jede Eingabemodalität müssen joggend unterschiedliche Interaktionen mit der Fitness-Applikation auf der Smartwatch durchgeführt werden. Für jede Eingabemodalität muss der Proband 3 mal das Training starten, es 2 mal pausieren, 2 mal eine neue Runde initiieren und das Training einmal stoppen. Pro Eingabemodalität muss jeder Proband somit 8 Interaktionen durchführen.

5.2.1. Teilnehmer der Studie

An der Studie haben insgesamt 14 Personen teilgenommen. Von diesen Teilnehmern waren 5 Personen weiblich und 9 Personen männlich. Alle Teilnehmer waren im Alter von 21 bis 38 Jahren. Das Durchschnittsalter lag bei 27 Jahren ($M = 27.3$, $SD = 4.45$, $Median = 26$). Insgesamt hatten 11 Teilnehmer einen akademischen Hintergrund, davon hatten 10 Personen einen technischen Hintergrund. 5 Personen studierten aktuell im Fachbereich Informatik und 2 Personen hatten ihr Informatik-Studium bereits mit dem Abschluss Diplom oder Master of Science abgeschlossen und eine Person davon war als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. 2 Personen studierten Elektro- und Informationstechnik, 1 Teilnehmer hatte sein Elektro- und Informationstechnikstudium bereits mit Diplom abgeschlossen und ist nun als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Die restlichen 3 Teilnehmer übten einen Ausbildungsberuf aus.

Von den Teilnehmern gaben 8 Personen an regelmäßig jede Woche Sport zu treiben, 7 davon sogar mehrmals wöchentlich, 2 Teilnehmer treiben ca. alle 2 Wochen Sport, 1 Teilnehmer treibt ca. einmal im Monat Sport, 3 Teilnehmer geben an kaum / nie Sport zu treiben. Alle 14 Teilnehmer waren im Besitz eines Smartphones, 7 Teilnehmer besaßen zusätzlich ein Tablet. Alle Teilnehmer haben somit bereits Erfahrung im Umgang mit Touch-Displays. Keiner der Teilnehmer besaß eine Smartwatch oder ein Fitnessarmband. Jedoch besaßen 2 Teilnehmer eine spezielle Laufuhr.

Abgesehen von den beiden Teilnehmern, die eine Laufuhr besaßen, nutzte keiner der Teilnehmer eine Fitness-Applikation. Die beiden Teilnehmer, die eine Laufuhr besaßen, gaben an, mit den Eingabemöglichkeiten zur Interaktion mit ihrer Laufuhr zufrieden zu sein.

5.2.2. Versuchsaufbau

Die Nutzerstudie wurde am Parkplatz der Universität Stuttgart durchgeführt. Der Studienaufbau ist in Abbildung 5.9 zu sehen.

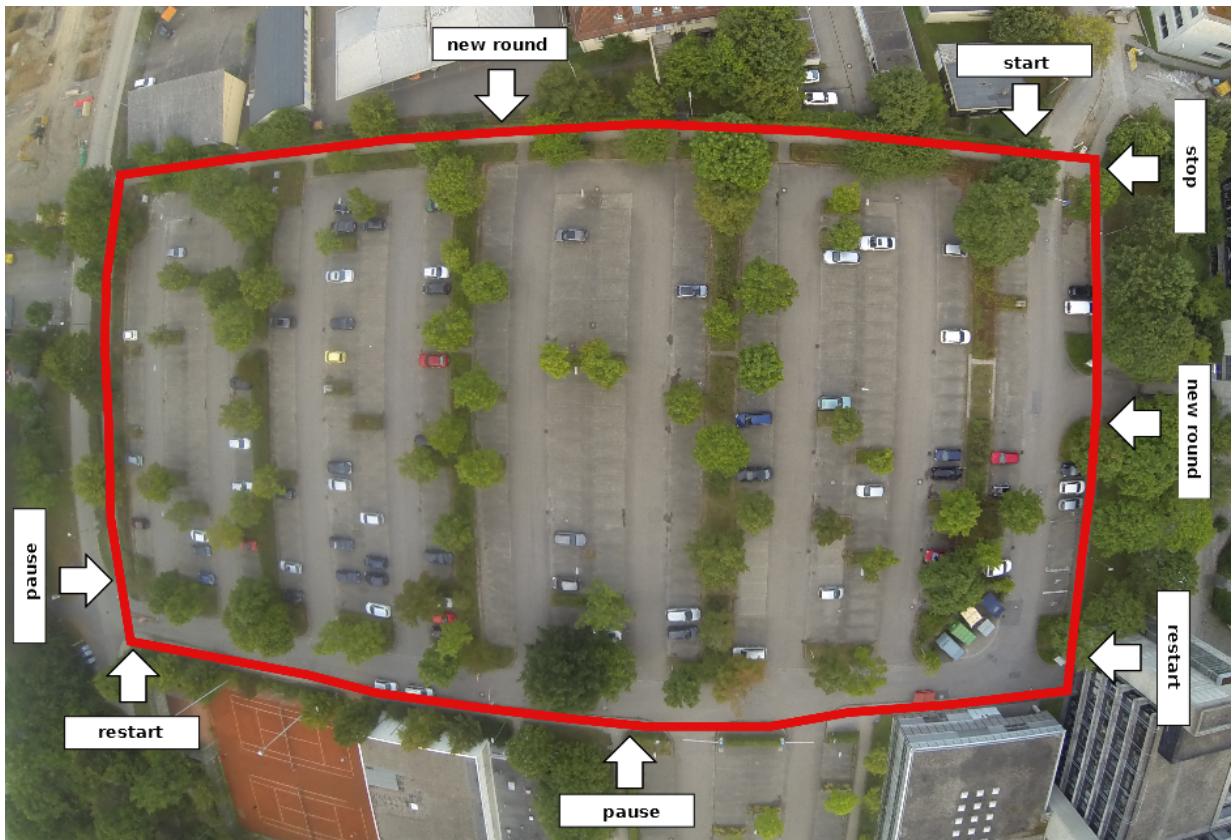


Abbildung 5.9.: Strecke

Die zu erledigenden Aufgaben wurden an die örtlichen Gegebenheiten des Parkplatzes angepasst. Vor möglicherweise gefährlichen Knotenpunkten am Parkplatz, wie beispielsweise den Ein- und Ausfahrten, sollte das Training pausiert werden und erst nachdem der Knotenpunkt passiert wurde, sollte das Training wieder aufgenommen, bzw. wieder gestartet werden. Auf ungefährlichen Zwischenstrecken sollte eine neue Runde initiiert werden. Jede Aufgabe wurde durch eine weiße Linie auf dem Boden angekündigt. Neben dieser Linie war ein Schild angebracht, das mit dem auszuführenden Kommando beschriftet war.

Zulässige Kommandos waren:

- START
- PAUSE
- NEUE RUNDE
- STOP

5. Anwendungsfall: Steuern einer Fitness-Applikation durch Gestenerkennung

In Abbildung 5.10 ist exemplarisch eine Aufgabe zum Pausieren des Trainings dargestellt.



Abbildung 5.10.: Aufgabe zum Pausieren des Trainings

Für den Vergleich mit der Gesten-basierten Eingabe über den berührungsempfindlichen Stoff wurde eine Button-basierte Applikation entwickelt. Die einzelnen Ansichten dieser Applikation sind in Abbildung 5.11 dargestellt. Aufgrund der geringen Display-Größe können maximal zwei Buttons nebeneinander dargestellt werden. Dies führt dazu, dass das laufende Training zunächst pausiert werden muss, bevor es gestoppt werden kann. Sobald eine Interaktion erfolgreich durchgeführt wurde, bekommt der Proband auch bei der Button-basierten Applikation auditives Feedback. Bei der Entwicklung dieser Button-basierten Applikation wurde darauf geachtet, dass diese Button-basierte Applikation mindestens genauso gut bedienbar ist, wie das bei vergleichbaren und gängigen Fitness-Applikationen der Fall ist.

Zum Vergleich wurden hierzu die Fitness Applikationen Endomondo (ca. 10 Millionen Benutzer), die Applikation Runtastik (ca. 10 Millionen Benutzer), sowie die Applikation SportsTracker (ca. 5 Millionen Benutzer) herangezogen. Die Ansichten aller Applikationen sind in Abbildung 5.11 dargestellt.

Die Fitness-Applikation Endomondo unterstützt die Aktionen START, PAUSE und STOP. Interaktionen mit der Fitness-Applikation auf einer Smartwatch sind schon aufgrund des Button-Layouts zum Neustarten und Stoppen nicht ganz einfach. Die beiden Buttons liegen direkt nebeneinander, zudem überlappt der eingeblendete Werbebanner diese Buttons auch noch. Dadurch sind die Buttons für den Benutzer schwerer zu treffen und es kann schnell zu Fehleingaben kommen.

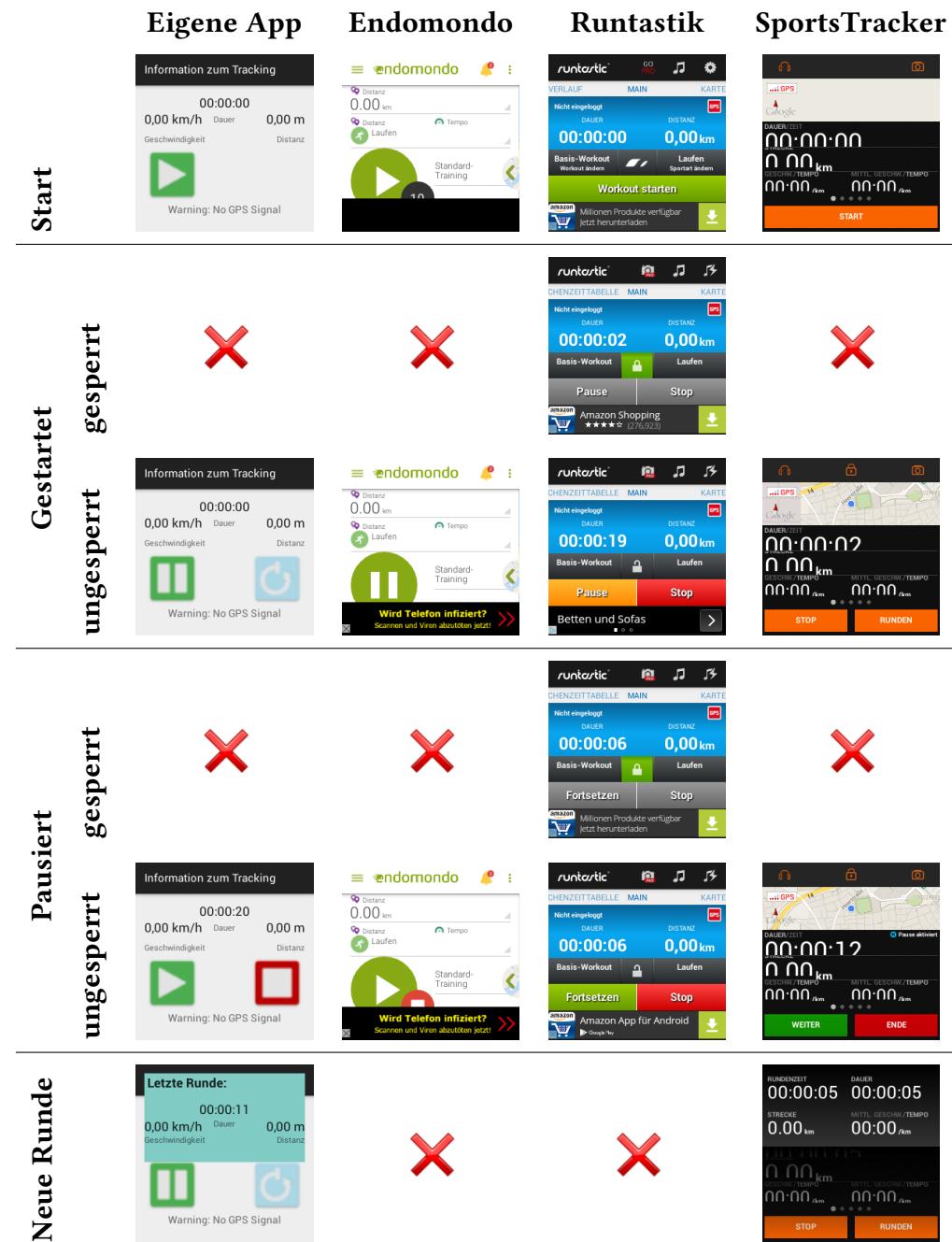


Abbildung 5.11.: Ansichten unterschiedlicher Button-basierter Fitness-Applikationen

5. Anwendungsfall: Steuern einer Fitness-Applikation durch Gestenerkennung

Bei der Fitness-Applikation Runtastik werden die Funktionalitäten START, PAUSE und STOP unterstützt. Bevor man mit den Buttons zum Pausieren, Stoppen oder Neustarten interagieren kann, muss man die Applikation zuvor über den sehr klein gehaltenen Entsperrbutton entsperren. Dadurch wird die Interaktion auf dem kleinen Display der Smartwatch zusätzlich erschwert. Die Fitness-Applikation SportsTracker unterstützt die Aktionen START, RUNDE, PAUSE und STOP, genauso wie die für die Benutzerstudie entwickelte Vergleichsapplikation. Bei dieser Applikation SportsTracker sind alle Buttons groß gewählt und gut zugänglich. Allerdings wird das Display zur Darstellung der Informationen überladen. Kaum eine Information kann dort vollständig betrachtet werden.

5.2.3. Durchführung der Studie

Der Ablauf der Benutzerstudie gliederte sich folgendermaßen:

- Erklärung des Zwecks der Studie & Einverständniserklärung
- Eingangsfragebogen
- Erprobungsphase
- Anwendung der App mit Modalität 1 & Bewerten der Modalität 1
- Anwendung der App mit Modalität 2 & Bewerten der Modalität 2
- Abschlussfragebogen
- Fazit der einzelnen Teilnehmer

Zuerst wurden die Teilnehmer darüber aufgeklärt, dass bei dieser Studie zwei unterschiedliche Eingabemodalitäten für eine Fitness-Applikation auf einer Smartwatch miteinander verglichen werden sollen. Nachdem die Teilnehmer die Möglichkeit hatten dazu Fragen zu stellen, mussten sie anschließend eine Einverständniserklärung ausfüllen.

Als nächstes wurden die Probanden mit dem nötigem Equipment ausgerüstet. Mit Hilfe eines Schultergurts wurde auf der Schulter jedes Probanden eine Aktionskamera (GoPro) platziert, um so die auszuführenden Interaktionen aufnehmen zu können. Am linken Arm trug der Proband neben der Smartwatch einen berührungsempfindlichen Stoff (siehe auch Kapitel 4.1), auf dem die Strichgesten ausgeführt wurden. Auf dem Rücken trug der Proband einen Rucksack, in dem der Laptop verstaut und an dem die Elektronik des benötigten Sensors (siehe auch Kapitel 4.1) befestigt wurden. Die vollständige Ausstattung der Probanden wird in Abbildung 5.12 gezeigt.

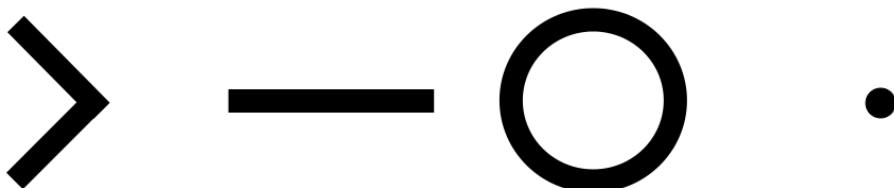
Danach hatten die Teilnehmer die Möglichkeit sich während der Erprobungsphase mit den jeweiligen Eingabemodalitäten (insbesondere den Gesten auf dem berührungsempfindlichen Stoff), sowie der Fitness-Applikation selbst vertraut zu machen. Die verwendeten Strichgesten wurden vor der Durchführung der Studie von 14 unterschiedlichen Personen, welche bei der Studie selbst nicht als Probanden teilnehmen durften, trainiert. Somit mussten die einzelnen



Abbildung 5.12.: Ausstattung eines Probanden

Strichgesten nicht durch den jeweiligen Probanden selbst trainiert werden. Die verwendeten Strichgesten sind in Abbildung 5.13 zu sehen. Als Geste zum Stoppen des Trainings musste der Stoff kurz mit einem Finger angetippt werden.

Anschließend folgten die Testdurchläufe für die einzelnen Eingabemodalitäten, sowie die Bewertung der einzelnen Eingabemodalitäten. Damit sich mögliche Lerneffekte nicht auf die Ergebnisse dieser Benutzerstudie auswirken, wurden die beiden Eingabemodalitäten in einer abwechselnden Reihenfolge durchgeführt. Die Probanden trugen bei beiden Testdurchläufen die vollständige Ausstattung, um mögliche Beeinflussungen auszuschließen.



(a) Training starten (b) Training pausieren (c) Neue Runde initiieren (d) Training stoppen

Abbildung 5.13.: Verwendete Gesten

5. Anwendungsfall: Steuern einer Fitness-Applikation durch Gestenerkennung

Abschließend sollten die Teilnehmer die beiden Modalitäten miteinander vergleichen und wurden nach ihrer Meinung zur Gesten-basierten Eingabe mit berührungsempfindlichen Stoffen befragt.

5.2.4. Ergebnisse

Usability der unterschiedlichen Modalitäten

Zur Bewertung der beiden Eingabemöglichkeiten, der Gesten-basierten Eingabe auf dem berührungsempfindlichen Stoff, sowie der Button-basierten Eingabemethode direkt auf der Smartwatch, wurde von jedem Probanden zur jeder Eingabemöglichkeit unter anderem ein Bewertungsfragebogen ausgefüllt, welcher die 10 standardisierten Fragen zum System Usability Scales (kurz: SUS) auf Deutsch enthielt.

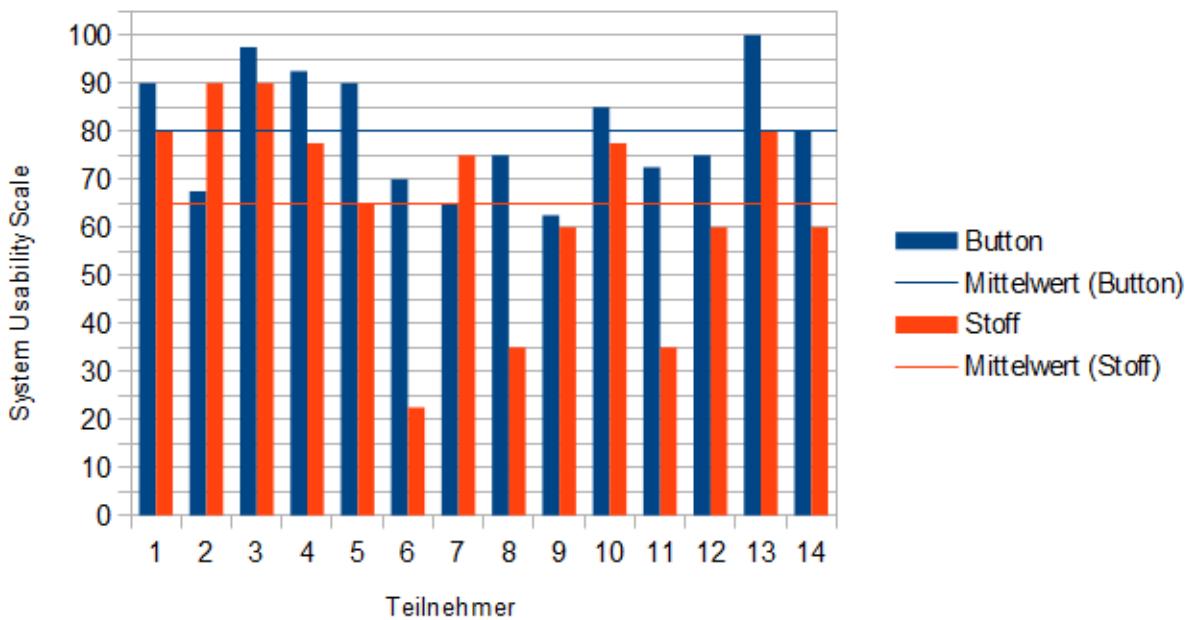


Abbildung 5.14.: System Usability Score zu beiden Eingabemethoden mit Mittelwerten

Die Details zu den Bewertungen der beiden Eingabemethoden der einzelnen Teilnehmer werden in der Abbildung 5.14 visualisiert. Das Maximum des System Usability Scales liegt bei 100 [Bro96]. Der Mittelwert des System Usability Scales zur Gesten-basierten Eingabemethode liegt bei 64.8, dies entspricht nach Bangor et al. einer Bewertung von „OK“ bis „Gut“. [BKM09]. Der Mittelwert zur Button-basierten Eingabe hingegen liegt bei 80.2, dies entspricht einer Bewertung zwischen „Gut“ und „Ausgezeichnet“.

Zur statistischen Auswertung wurden die einzelnen Mittelwerte der System Usability Scales mit einem T-Test analysiert. Der Mittelwert des System Usability Scales für die Button-basierte Eingabemethode ($M = 80,18$, $SE = 3,30$) auf der Smartwatch direkt ist statistisch signifikant höher als die Gesten-basierte Eingabemethode auf dem berührungsempfindlichen Stoff ($M = 64.82$, $SE = 5.64$), $t(13) = -3.04$, $p = 0.010$, $r = 0.64$.

AttrakDiff Mini

Mit dem Bewertungsfragebogen AttrakDiff Mini werden 3 Aspekte des jeweiligen Produkts untersucht [HM10]. Dabei handelt es um die Pragmatische Qualität (kurz: PQ), die Hedonische Qualität (kurz: HQ), sowie die Attraktivität (kurz: ATT).

Mit der Pragmatischen Qualität (PQ) wird die Benutzbarkeit des Produkts bewertet. Die Hedonische Qualität hingegen analysiert, inwiefern das Produkt für die Benutzer interessant ist. Zur genaueren Analyse wird bei der Hedonischen Qualität zwischen Stimulation und Identität unterschieden. Die hedonische Qualität - Stimulation (kurz: HQ-S) untersucht, inwiefern die Funktionalitäten des Produkts für die Benutzer neuartig und interessant sind. Die hedonische Qualität - Identität (kurz: HQ-I) hingegen analysiert, inwiefern sich die Benutzer mit dem Produkt identifizieren können. Mit der Attraktivität (kurz: ATT) des Produkts wird die Qualität des Produkts bestimmt.

Der AttrakDiff Mini Bewertungsbogen besteht aus 10 standardisierten Wortpaaren. Anhand dieser Wortpaare geben die Benutzer ihre Einschätzung zum Produkt ab. In Abbildung 5.15 sind die Mittelwerte der jeweiligen Einschätzungen der Benutzer visualisiert. Die Wortpaare *kompliziert – einfach, unpraktisch – praktisch, unberechenbar – voraussagbar, verwirrend – übersichtlich* definieren die Pragmatische Qualität. Aus den Wortpaaren *stilos – stilvoll, minderwertig – wertvoll* wird die Hedonische Qualität - Stimulation (HQ-S) bestimmt. Für die Hedonische Qualität - Identität werden die Wortpaare *phantasielos – kreativ, lahm – fesselnd* betrachtet. Die Attraktivität setzt sich aus den Wortpaaren *hässlich – schön, schlecht – gut* zusammen.

Im Anhang (Abbildung A.3(b)) werden für jeden Teilnehmer die bestimmten Attribute (PQ, HQ-S, HQ-I, ATT) grafisch dargestellt. Das Maximum der einzelnen Attribute liegt jeweils bei 3. Die Mittelwerte für die einzelnen Attribute sind in Abbildung 5.16 zu sehen.

Zur statistischen Auswertung wurden die einzelnen Mittelwerte der Attribute (PQ, HQ-S, HQ-I, ATT) mit einem T-Test analysiert. Der Mittelwert der Pragmatischen Qualität für die Gesten-basierte Eingabemethode auf dem berührungsempfindlichen Stoff ($M = 0.66$, $SE = 0.40$) ist statistisch signifikant niedriger als der Mittelwert für die Button-basierte Eingabemethode auf der Smartwatch ($M = 2.04$, $SE = 0.23$), $t(13) = -3.48$, $p = 0.004$, $r = 0.69$.

Über die Mittelwerte der Hedonischen Qualität - Stimulation kann keine signifikante Aussage getroffen werden. Der Mittelwert der Gesten-basierten Eingabemethode auf dem berührungsempfindlichen Stoff ($M = 0.32$, $SE = 0.30$) ist jedoch niedriger als der Mittelwert für die Button-basierte Eingabemethode ($M = 0.54$, $SE = 0.36$), $t(13) = -0.73$, $p = 0.481$.

Der Mittelwert der Hedonischen Qualität - Identität für die Gesten-basierte Eingabemethode

5. Anwendungsfall: Steuern einer Fitness-Applikation durch Gestenerkennung

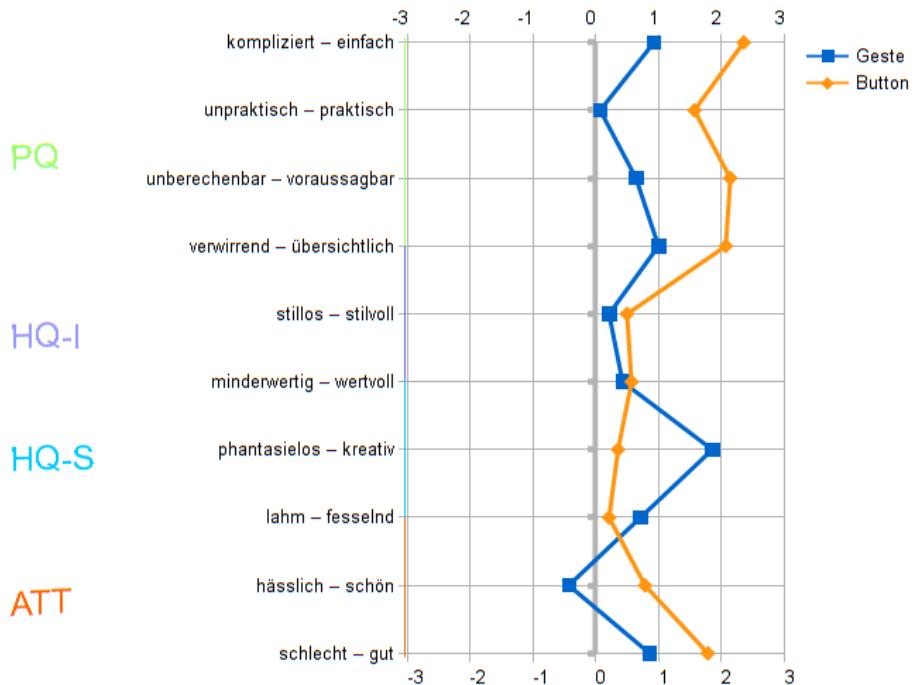


Abbildung 5.15.: Profil der Wortpaare

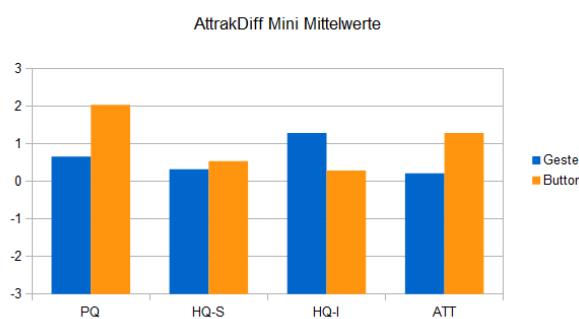


Abbildung 5.16.: Mittelwerte für beide Eingabemethoden unterteilt in PQ, HQ-S, HQ-I und ATT

auf dem berührungssempfindlichen Stoff ($M = 1.29$, $SE = 0.35$) ist statistisch signifikant höher als der Mittelwert für die Button-basierte Eingabemethode auf der Smartwatch ($M = 0.29$, $SE = 0.32$), $t(13) = 4.50$, $p = 0.001$, $r = 0.78$.

Der Mittelwert der Attraktivität für die Gesten-basierte Eingabemethode auf dem berührungssempfindlichen Stoff ($M = 0.21$, $SE = 0.41$) ist statistisch signifikant niedriger als der Mittelwert für die Button-basierte Eingabemethode auf der Smartwatch ($M = 1.29$, $SE = 0.27$), $t(13) = -2.99$, $p = 0.011$, $r = 0.64$.

Die Button-basierte Eingabemethode schneidet somit bei der Pragmatischen Qualität und der Attraktivität besser ab als die Gesten-basierte Eingabemethode. Die Gesten-basierte Eingabemethode hingegen wurde bei der Hedonischen Qualität besser bewertet als die Button-basierte Eingabemethode. Insgesamt wird die Button-basierte Eingabemethode als handlungsorientiert eingestuft, während die Gesten-basierte Methode eher neutral gesehen wird (siehe auch Abbildung 5.17).



Abbildung 5.17.: AttrakDiff Mini Ergebnisse für die Button-basierte Applikation

Objektive Beurteilung

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Benutzerstudie nach objektiven Kriterien ausgewertet. Untersucht werden hier die Durchführungszeiten und die Fehlerquoten.

Durchführungszeiten

Für die Messung der Durchführungszeiten für die einzelnen Eingabemethoden wurde jeweils die Zeitspanne gemessen, die benötigt wurde um eine Interaktion auszulösen. Als Startzeitpunkt einer Interaktion wird hierbei der Moment verwendet, in dem der Benutzer mindestens einen seiner Arme zur Interaktion bewegt. Als Endzeitpunkt der Interaktion wird der Zeitpunkt verwendet, wenn der Benutzer den Finger wieder anhebt, d.h. wenn der Benutzer den Stoff

5. Anwendungsfall: Steuern einer Fitness-Applikation durch Gestenerkennung

nicht mehr berührt und die entsprechende Geste identifiziert wurde bzw. wenn der Benutzer das Touch-Display der Smartwatch nicht mehr berührt.

Die Mittelwerte, die Minima, sowie die Maxima für die einzelnen Aufgaben mit den dazugehörigen Eingabemethoden sind in Tabelle 5.1 aufgelistet. Zur statistischen Auswertung wurden die einzelnen Mittelwerte der beiden Durchführungszeiten mit einem zweifachen ANOVA-Test bei wiederholten Messungen analysiert.

Die Ergebnisse des Tests zeigen, dass die Mittelwerte bei der Gesten-basierten Eingabemethode ($M = 1.50$, $SE = 0.09$) statistisch signifikant niedriger sind als bei der Button-basierten Eingabemethode ($M = 1.85$, $SE = 0.12$), $F(1, 13) = 12.84$, $p = 0.003$, $r = 0.78$.

Bei den Mittelwerten der Durchführungszeiten der einzelnen Aufgaben kann auch eine statistisch signifikante Aussage getroffen werden ($F(3, 39) = 15.77$, $p < 0.001$, $r = 0.72$). Das bedeutet, dass wenn die Eingabemodalität ignoriert wird, die Mittelwerte der Durchführungszeiten von der ausgeführten Aufgabe abhängen. Die Posthoc-Tests zeigen, dass sich die Mittelwerte zwischen den Aufgaben START – NEUE RUNDE ($p > 0.050$), sowie START – STOP ($p = 0.148$) nicht signifikant unterscheiden. Die Mittelwerte der Aufgabe PAUSE sind jedoch statistisch signifikant niedriger als die der Aufgabe START, $p = 0.002$. Außerdem sind die Mittelwerte der Aufgabe PAUSE jedoch statistisch signifikant niedriger als die der Aufgabe NEUE RUNDE, $p < 0.001$. Die Mittelwerte der Aufgabe PAUSE sind auch statistisch signifikant niedriger als die der Aufgabe STOP, $p < 0.001$. Zudem sind die Mittelwerte der Aufgabe NEUE RUNDE statistisch signifikant niedriger als die der Aufgabe STOP, $p = 0.016$.

Zusammengefasst zeigt das, dass die Aufgabe PAUSE signifikant schneller ausgeführt werden konnte als die restlichen Aufgaben. Außerdem konnte die Aufgabe RUNDE signifikant schneller ausgeführt werden als die Aufgabe STOP.

Die Wirkung Eingabemodalität \times Aufgaben ist statistisch signifikant, $F(3, 39) = 28.64$, $p < 0.001$, $r = 0.82$. Dies zeigt, dass sich die verwendete Eingabemodalität auf die Mittelwerte der einzelnen Aufgaben auswirkt. Die Innersubjektkontraste zeigen, dass die Differenz zwischen den Mittelwerten der Aufgaben NEUE RUNDE und STOP nicht statistisch signifikant sind, ($F(1, 13) < 1.00$, $p = 0.547$). Die Differenzen zwischen den Mittelwerten der Aufgaben START und NEUE RUNDE sind statistisch signifikant, $F(1, 13) = 37, 03$, $p < 0.001$. Auch die Differenzen zwischen den Mittelwerten der Aufgaben NEUE RUNDE und PAUSE sind statistisch signifikant, $F(1, 13) = 25.87$, $p < 0.001$.

Dies bedeutet es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen den einzelnen Aufgaben, sowie den beiden Eingabemodalitäten.

	Aufgabe	Mittelwert (sec)	Minimum (sec)	Maximum (sec)
Geste	Start	1.76	1.01	2.38
	Pause	1.14	0.66	1.80
	Runde	1.84	1.17	2.57
	Stop	1.27	0.78	1.78
	Mittelwert	1.58	1.08	2.09
Button	Start	1.65	0.66	2.67
	Pause	1.36	0.79	1.67
	Runde	1.31	0.87	1.89
	Stop	3.07	1.78	5.38
	Mittelwert	1.85	1.07	2.47

Tabelle 5.1.: Durchführungszeiten für die einzelnen Aufgaben, unterteilt nach den verwendeten Eingabemethoden

Fehlerrate

Zusätzlich zu den Durchführungszeiten wurde auch die Treffgenauigkeit bei der Button-basierten Eingabemethode, sowie die Genauigkeit bei der Ausführung der Gesten bei der Gesten-basierten Eingabemethode gemessen. Analysiert wurde jeweils die Trefferwahrscheinlichkeit beim ersten Versuch. Die folgenden Vorkommnisse wurden bei den Interaktionen als Fehler gewertet:

- Button wurde nicht auf Anhieb getroffen
- Ausgeführte Geste wurde nicht auf Anhieb erkannt
- Die auszuführende Geste wurde mit einer anderen Geste verwechselt

Zur statistischen Auswertung wurden die einzelnen Mittelwerte der Fehlerraten mit einem zweifachen ANOVA-Test bei wiederholten Messungen analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Mittelwerte der Fehlerrate bei der Gesten-basierten Eingabemodalität ($M = 0.28$, $SE = 0.5$) nicht statistisch niedriger sind als die Mittelwerte der Fehlerrate bei der Button-basierten Eingabemethode ($M = 0.17$, $SE = 0.5$), $F(1, 13) = 2.72$, $p = 0.123$. Auch bei den gestellten Aufgaben sind allgemein die Unterschiede bei den Mittelwerten zwischen der Gesten-basierten Eingabemethode und der Button-basierten Eingabemodalität nicht statistisch signifikant, $F(3, 39) = 2.46$, $p = 0.077$. Auch bei der Kombination der Modalitäten und der einzelnen Aufgaben lässt sich keine statistische Signifikanz zwischen den Mittelwerten der Fehlerraten feststellen, $F(3, 39) = 0.34$, $p = 0.794$.

Die einzelnen Mittelwerte sind in Tabelle 5.2 dargestellt. Allgemein sind die Fehlerraten für die Button-basierte Eingabemethode geringer als die Fehlerraten der Gesten-basierten Eingabemodalität.

5. Anwendungsfall: Steuern einer Fitness-Applikation durch Gestenerkennung

	Aufgabe	Mittelwert (# Fehler)	Minimum (# Fehler)	Maximum (# Fehler)
Geste	Start	0.19	0.00	0.67
	Runde	0.36	0.00	1.00
	Pause	0.14	0.00	0.50
	Stop	0.43	0.00	1.00
	Mittelwert	0.28	0.00	0.58
Button	Start	0.10	0.00	0.33
	Runde	0.19	0.00	1.00
	Pause	0.11	0.00	0.50
	Stop	0.29	0.00	1.00
	Mittelwert	0.17	0.00	0.50

Tabelle 5.2.: Gemessene Fehlerraten im Mittel

Abschließendes Feedback

Das abschließende Teilnehmertreffen bestätigt die bisherigen Ergebnisse. Viele Teilnehmer empfanden die Gesten-basierte Eingabemethode über berührungssempfindliche Stoffe als neu, interessant und spannend. Die Button-basierte Eingabemethode empfanden die Teilnehmer eher als intuitiv, voraussehend und gewöhnlich.

Manche Teilnehmer empfanden die Gesten-basierte Eingabe deutlich einfacher als die Button-basierte. Teilnehmer, welche unsicher waren und die Gesten sehr langsam ausgeführt haben, hatten deutlich mehr Probleme bei der Eingabe. Allerdings waren diese Teilnehmer der Ansicht, dass sie mit der Zeit und mehr Übung auch gut mit der Eingabemethode umgehen und Gesten letztendlich auch blind auf der Kleidung ausführen könnten.

Die meisten Probleme hatten die Teilnehmer bei der Eingabe von komplizierteren Gesten, wie zum Beispiel der geometrischen Kreisgeste oder der zeitabhängigen Tippgeste. Die Wischgeste hingegen empfanden die Teilnehmer als leicht und schnell ausführbar. Zudem hatten manche Teilnehmer Probleme damit, sich die vier unterschiedlichen Gesten zu merken.

„Ich finde es eigentlich ganz witzig. Die Gesten-basierte Methode ist etwas neues. Die Steuerung über Gesten funktioniert besser als über Buttons“ – Teilnehmer Nr. 2

„Ich denke, ich würde mehr Training / mehr Übung benötigen, bevor ich die Gesten-basierte Methode verwenden kann. Beim ersten Mal war die Interaktion einfach ungewohnt. Das kann nach einer Woche schon intuitiver sein. Die Pausegeste macht Spaß, ist einfach. Die Kreisgeste hingegen ist umständlich, man muss hinsehen.“ – Teilnehmer Nr. 6

„Die Benutzerfreundlichkeit ist gleichwertig zu anderen Eingabemethoden“ – Teilnehmer Nr. 7

„Die Gesten-basierte Eingabe war zwar schwerer, aber ich finde die Gesten-basierte Eingabe spannender und interessanter. Besonders kann ich mir vorstellen, dass die Bedienung (nach einer

Einarbeitung) besser funktionieren kann, als bei den Buttons. Man muss beim Durchführen der Gesten nicht zuschauen.“ – Teilnehmer 14

Abschließend gaben 13 von 14 Teilnehmern der Benutzerstudie an, dass sie es sich vorstellen könnten, die Gesten-basierte Eingabemethode zu verwenden, wenn berührungsempfindliche Stoffe in die Kleidung integriert werden können. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass die Kleidung keinen Wartungsaufwand verursacht, einfache und sich leicht zu merkende Gesten verwendet werden, es passende Anwendungen dafür gibt und kein zusätzliches Gerät verwendet werden muss. Lediglich eine Teilnehmerin würde weiterhin die Geräte direkt bedienen wollen.

Die Teilnehmer können sich vorstellen, dass berührungsempfindliche Stoffe für unterschiedliche Arten von Anwendungen genutzt werden können. Vorstellbar sind für die Teilnehmer zum einen Anwendungen zu einfachen Telefonfunktionen, wie Anruf annehmen bzw. abweisen oder Benachrichtigungen auf Smartphones bestätigen bzw. löschen.

Ansonsten können sich die Teilnehmer auch vorstellen über ihre Kleidung oder Dekorationsgegenstände, wie zum Beispiel Sofakissen oder Tischdecken, Unterhaltungselektronik zu steuern, zum Beispiel die Medienverwaltung am Heimkinosystem oder Musikplayer. Ansonsten können sich die Benutzer vorstellen so mit ferngesteuerten Spielzeugautos oder T-Shirts mit Musikfunktion zu interagieren.

Ein weiterer Anwendungsbereich sind neben Smart Home Anwendungen auch Interaktionen im Auto. Hierzu gehören unter anderem das Steuern der Freisprecheinrichtung, Anschalten der Standheizung oder das Steuern der Lüftung.

Außerdem könnten berührungsempfindliche Stoffe an der Kleidung von alleinstehenden Senioren als Notruf oder bei Patienten im Krankenhaus zur Patientenbetreuung verwendet werden.

6. Anwendungsfall: Identifikation von Handdaten

In diesem Kapitel wird auf die prototypische Umsetzung und Evaluation der Konzeptidee zur Identifikation von Handdaten aus Kapitel 3.1.2 eingegangen. Dazu soll der Benutzer mit einer rechten Hand seinen linken Arm umfassen. Die Handdaten des Benutzers werden dann über den berührungsempfindlichen Bereich in der Kleidung erkannt und zur Identifikation verwendet. Somit besteht für den Benutzer die Möglichkeit sich über seine Kleidung authentifizieren zu können und er muss keine Passwörter oder Muster zur Authentifizierung eingeben, was besonders in der Öffentlichkeit von Vorteil ist.

6.1. Implementierung

Bevor die Handdaten zur Authentifizierung verwendet werden können, muss eine Identifikation erfolgen. Um diese Identifikation durchführen zu können, müssen zuerst Handdaten aufgenommen werden. Für diese Handdaten wird eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt und das Rauschen wird behandelt. Anschließend werden in diesen Handdaten Merkmale bestimmt, anhand derer ein Abstand zu anderen Handdaten bestimmt werden kann. Durch diese Abstandsberechnung können neue, bisher noch unklassifizierte Handdaten dann letztendlich klassifiziert und einer Person zugeordnet werden, bzw. es kann überprüft werden, ob diese neuen Handdaten zu einer bestimmten Person gehören.

6.1.1. Datenaufnahme

Bei der Aufnahme einzelner Handdaten wird für jeden Punkt der Mittelwert aus insgesamt 25 Frames berechnet. Dadurch kann einerseits zufällig auftretendes Rauschen gedämpft werden, andererseits werden dadurch auch Druckschwankungen während des Umfassens des Arms ausgeglichen. Anschließend werden die Handdaten als XML gespeichert.

6.1.2. Plausibilitätsprüfung

Zur Vorbehandlung wird jeder Punkt auf Plausibilität mit seinen Nachbarn überprüft. Durch diese Vorbehandlung der Handdaten wird vermieden, dass durch die Lage des Stoffs, Spannungen am Arm oder Bewegung des Arms ausgelöste, deutlich höhere als real vorliegende Druckwerte erkannt werden. Das allgemein auftretende, anhaltende Rauschen wird in dieser Plausibilitätsprüfung jedoch nicht behandelt. Dieses muss bei der Merkmalsbestimmung noch gesondert behandelt werden.

Bei der Plausibilitätsprüfung wird jeder Druckwert mit dem Median der umliegenden Druckwerte verglichen. Ist die Differenz zwischen diesen Werten höher als es bei einer Berührung vorkommen kann, wird der Druckwert durch den Median ersetzt (siehe auch Algorithmus 6.1).

Algorithmus 6.1 Algorithmus zur Plausibilitätsprüfung

```

1 public static Double[][] correctMatrixData(Double[][] matrix, int entries ) {
2     Double[][] correctedMatrix = matrix.clone () ;
3     int threshold = 1400000;
4     for (int row = 1; row < 31; row++) {
5         for (int column = 1; column < 31; column++) {
6             double[] values = new double[8];
7             int index = 0;
8             for (int neighborRow = -1; neighborRow < 2; neighborRow++) {
9                 for (int neighborColumn = -1; neighborColumn < 2; neighborColumn++) {
10                     if (( neighborRow == 0) and (neighborColumn == 0)) {
11                         continue;
12                     }
13                     values[index] = matrix[row + neighborRow][column + neighborColumn];
14                     index++;
15                 }
16             }
17             Arrays. sort ( values );
18             double median = median(values);
19             if (matrix[row][column] >= (median + threshold)) {
20                 correctedMatrix [row][column] = median;
21             }
22         }
23     }
24     // Following :
25     // The same plausibility check for :
26     // – the first and the last column
27     // – the first and the last row
28     return correctedMatrix ;
29 }
```

In Abbildung 6.1 sind Handdaten von unterschiedlichen Probanden ungefiltert und nach der Plausibilitätsprüfung dargestellt.

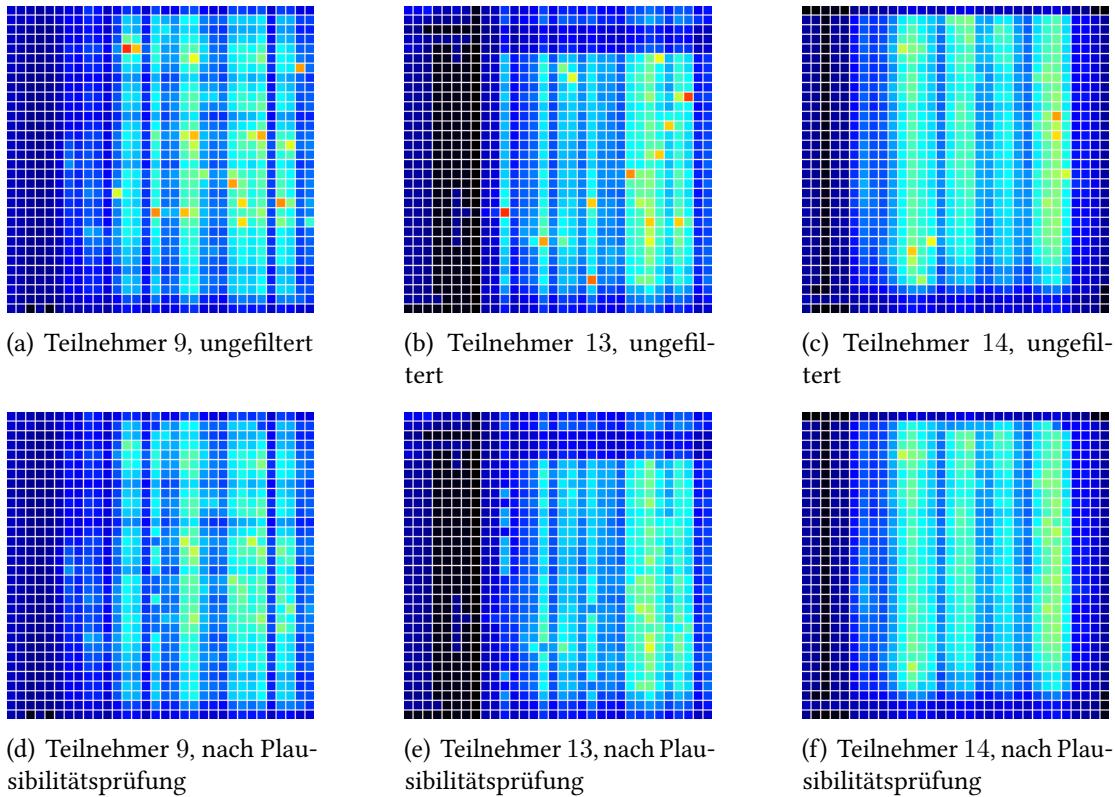


Abbildung 6.1.: Vergleich der ungefilterten Handdaten zu den Handdaten nach erfolgter Plausibilitätsprüfung

6.1.3. Merkmalsbestimmung

Die Bestimmung von (Bild-) Merkmalen ist immer noch ein aktuelles Forschungsthema. Haralick et al. haben bereits im Jahr 1973 eine Liste von Textur-Merkmalen definiert [HSD73]. Aufgrund der sehr niedrigen Auflösung der Handdaten mit 32×32 Punkten mit Druckwerten bietet es sich jedoch an, einen eigenen Algorithmus zu verwenden.

Der Algorithmus zur Merkmalsbestimmung teilt die vorhandenen Druckwerte in unterschiedliche Buckets auf (siehe auch Algorithmus 6.2). Zu Behandlung des auftretenden Rauschens werden hierbei alle Werte, die kleiner als ein definierter Schwellwert sind, als Rauschen erkannt in ein Bucket eingeteilt. Alle Druckwerte höher dieses Schwellwertes werden anschließend in n gleich große Buckets unterteilt. Zuletzt wird noch ein zusätzliches Bucket verwendet, das zusätzlich noch alle Druckwerte enthält, die wiederum größer als ein Schwellwert sind. Dieser Schwellwert gleicht dem Schwellwert, der bei der Gestenerkennung verwendet wurde um eine

6. Anwendungsfall: Identifikation von Handdaten

Berührung zu erkennen. In Abbildung 6.2 sind Handdaten von unterschiedlichen Probanden nach der Plausibilitätsprüfung und nach der Filterung des Rauschens dargestellt.

Algorithmus 6.2 Algorithmus zur Behandlung des Rauschens bei Handdaten

```
1 public static int[] computeFeatures(Double[][] doubles) {  
2     Double[][] data = doubles.clone();  
3     int thresholdContact = 1500000;  
4     int buckets = 70;  
5     int threshold = 200000;  
6     double bucketSize = 8000000 / (buckets - 1);  
7     int[] features = new int[buckets + 2];  
8     for (int row = 0; row < 32; row++) {  
9         for (int column = 0; column < 32; column++) {  
10            double value = data[row][column] - threshold;  
11            int bucket = (int) Math.floor (value / bucketSize);  
12            // Fit the values to [0, buckets-1]  
13            bucket = bucket < 0 ? 0:bucket;  
14            bucket = bucket > (buckets-1) ? buckets-1:bucket;  
15            features [bucket]++;  
16            if (value > thresholdContact) {  
17                features [buckets + 1]++;  
18            }  
19        }  
20    }  
21    return features;  
22}
```

6.1.4. Abstandbestimmung und Klassifizierung

Anhand der Merkmalsbestimmung ist es nun möglich, den Abstand zwischen zwei Handdaten zu bestimmen. Hierzu wird der euklidsche Abstand zwischen den Größen aller Buckets berechnet. Somit können auch Handdaten klassifiziert und Personen zugeordnet werden. Zur Klassifizierung neuer Handdaten wird der k-Nearest-Neighbor-Algorithmus $k = 5$ mit angewendet [Lar05]. Um mit den biometrischen Daten eine Authentifizierung durchführen zu können, wird an dieser Stelle ein Verifikationssystem implementiert [PMWP00]. Das bedeutet, dass bekannt ist, zu welcher Person die aktuellen, zu klassifizierenden Handdaten gehören und daher muss überprüft werden, ob diese aktuellen Handdaten tatsächlich zu dieser Person gehören können. Dazu werden die Handdaten zuerst klassifiziert und derjenigen Person zugeordnet, deren Handdaten den aktuellen Handdaten am ähnlichsten sind. Anschließend wird noch überprüft, ob es bei der klassifizierten Person um die angegebene Person handelt.

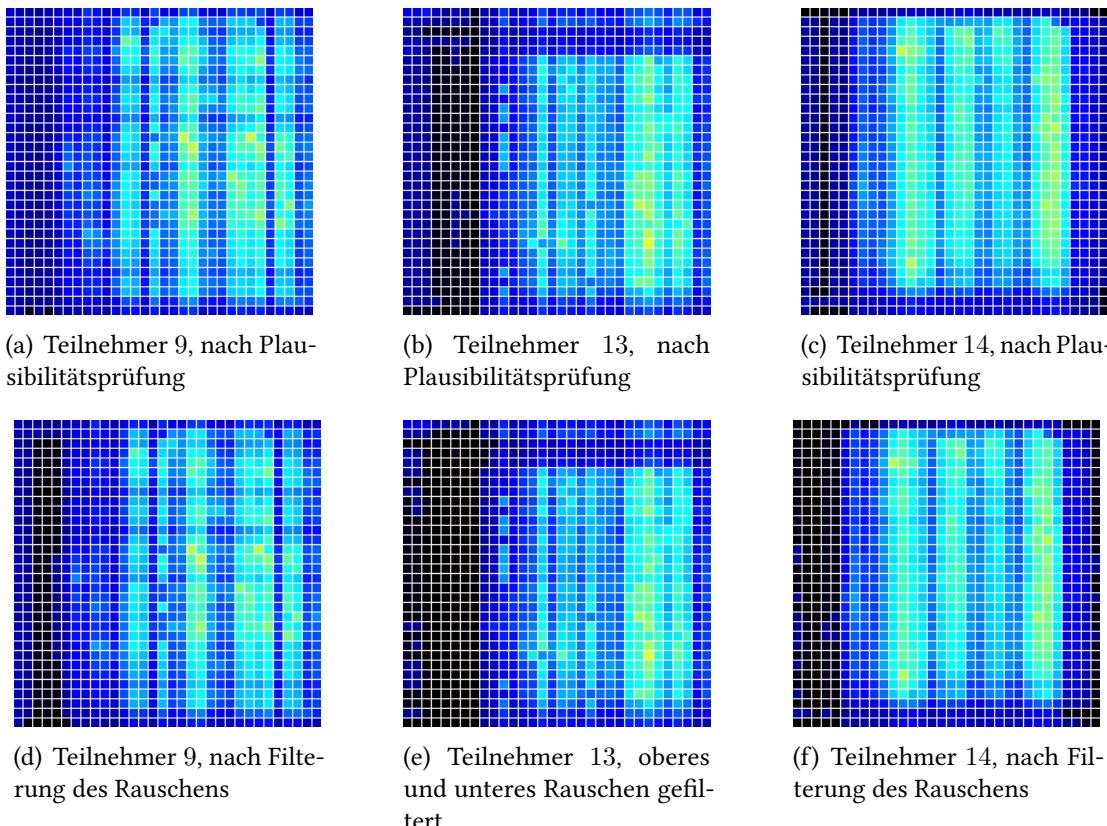


Abbildung 6.2.: Vergleich der Handdaten nach Plausibilitätsprüfung zu den Rausch-reduzierten Handdaten

6.2. Evaluierung

Im Rahmen einer Benutzerstudie wurden Handdaten von Personen aufgezeichnet. Mit diesen Handdaten wurde der erstellte Algorithmus zur Identifikation evaluiert.

6.2.1. Teilnehmer der Studie

An der Studie haben insgesamt 16 Personen teilgenommen. Von diesen Teilnehmern waren 4 Personen weiblich und 12 Personen männlich. Alle Teilnehmer waren im Alter von 21 bis 40 Jahren. Das Durchschnittsalter lag bei 28 Jahren ($M = 28.0$, $SD = 5.32$, $Median = 28$).

Bei allen Teilnehmern wurde der Armumfang am Handgelenk, sowie am Ellenbogen gemessen. Die Messergebnisse sind in Abbildung 6.3 grafisch dargestellt. Wie zu erwarten war, sind die Armumfänge der weiblichen Teilnehmer (Teilnehmer: 5,11,13 und 16) kleiner als bei den männlichen Teilnehmern. Die Armumfänge am Handgelenk betrugen 14.2 – 17.6 cm ($M = 16.93$, $SD = 1.15$). Die Armumfänge am Ellenbogen lagen bei 21.6 – 29.9 cm ($M = 26.93$,

6. Anwendungsfall: Identifikation von Handdaten

$SD = 2.37$).

Der verwendete Sensormatrix (siehe Kapitel 4.1) hat eine Größe von ca. $16 \times 16 \text{ cm}^2$ und der Stoff hat eine Größe von $20 \times 20 \text{ cm}^2$ (mit Naht- und Lötzugaben) und passt somit an die Unterarme der Teilnehmer. Die Handdaten haben also bei allen Teilnehmern eine Auflösung von $32 \times 32 = 1024$ Punkten.

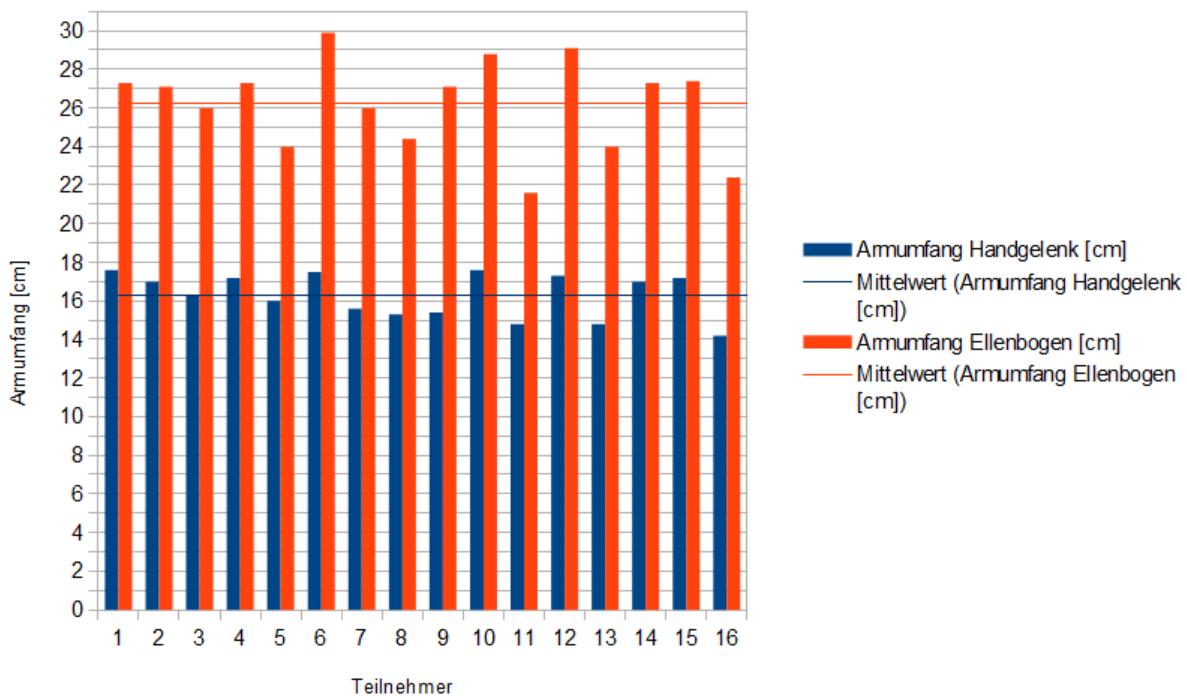


Abbildung 6.3.: Armmfang der Teilnehmer am Handgelenk, sowie am Ellenbogen

6.2.2. Versuchsaufbau

Für diesen Versuch benötigt man einen Laptop zur Datenaufnahme, welcher mit dem in Kapitel 4.1 beschriebenen Sensor verbunden ist (siehe auch Abbildung 6.4). Der Versuchsaufbau ist somit nicht ortsgebunden. Die Studie wurde in Stuttgart und Bochum durchgeführt.

Der Laptop und die Elektronik des Sensors befinden sich auf einem Tisch. Der Stoff des Sensors wird am Arm des jeweiligen Probanden befestigt und der Proband sitzt während der Studie in der Nähe des Sensors.



Abbildung 6.4.: Versuchsaufbau der Studie

6.2.3. Durchführung der Studie

Der Ablauf der Benutzerstudie gliederte sich folgendermaßen:

- Erklärung des Zwecks der Studie & Einverständniserklärung
- Eingangsfragebogen & Messen der Armumfänge
- Aufnahme der Handdaten

Zuerst wurden die Teilnehmer darüber aufgeklärt, dass im Rahmen dieser Studie von ihnen Handdaten aufgenommen werden, welche anschließend zur Evaluierung des Identifikationsalgorithmus verwendet werden. Anschließend wurden die persönlichen Daten der Teilnehmer aufgenommen, sowie die Armumfänge am Handgelenk und am Ellenbogen gemessen.

Danach wurde der berührungsempfindliche Stoff am linken Unterarm der Teilnehmer befestigt und die Datenaufnahme wurde gestartet. Zur Datenaufnahme mussten sich die Probanden mit der in Abbildung 6.5 dargestellten Handhaltung an den Unterarm fassen. Die Datenaufnahme wurde für jeden Probanden 30 mal wiederholt. Vor jeder Datenaufnahme mussten der rechte Arm und die rechte Hand bewegt werden. Der berührungsempfindliche Stoff durfte während der Datenaufnahme auf keinem Untergrund aufliegen.



(a) Teilnehmer 1



(b) Teilnehmer 5

Abbildung 6.5.: Geforderte Handhaltung zur Datenaufnahme

6. Anwendungsfall: Identifikation von Handdaten

6.2.4. Ergebnisse

Zur Evaluierung wurden alle von aufgenommenen Handdaten klassifiziert. Die Ergebnisse dieser Klassifizierungen werden in Tabelle 6.1 als Confusion Matrix dargestellt. Insgesamt wurden 359 der 480 aufgenommenen Handdaten korrekt klassifiziert. Dies entspricht einer Erkennung von 74.79 %.

	Teilnehmer 1	Teilnehmer 2	Teilnehmer 3	Teilnehmer 4	Teilnehmer 5	Teilnehmer 6	Teilnehmer 7	Teilnehmer 8	Teilnehmer 9	Teilnehmer 10	Teilnehmer 11	Teilnehmer 12	Teilnehmer 13	Teilnehmer 14	Teilnehmer 15	Teilnehmer 16
Teilnehmer 1	26	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Teilnehmer 2	6	21	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Teilnehmer 3	0	4	23	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Teilnehmer 4	0	0	1	17	3	5	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Teilnehmer 5	0	0	0	1	25	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Teilnehmer 6	0	0	0	1	2	22	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Teilnehmer 7	0	0	0	0	1	1	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Teilnehmer 8	0	0	0	1	2	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0
Teilnehmer 9	0	0	0	0	0	0	0	0	24	1	2	0	0	0	0	3
Teilnehmer 10	0	0	0	0	1	0	0	0	1	17	4	2	1	3	1	0
Teilnehmer 11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	26	0	0	1	0	2
Teilnehmer 12	0	0	0	0	0	0	0	0	6	4	1	15	0	1	1	2
Teilnehmer 13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	2	0	0
Teilnehmer 14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2	3	5	10	0	6
Teilnehmer 15	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	26	0
Teilnehmer 16	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	2	0	0	0	24

Tabelle 6.1.: Confusion matrix

In Abbildung 6.6 sind jeweils 3 Handdaten von 3 unterschiedlichen Probanden dargestellt. Hier erkennt man deutlich, weshalb es sehr schwierig ist Handdaten Personen eindeutig zuzuordnen. Die Handdaten unterscheiden sich deutlich, je nach Lage und Druck der umfassenden Hand. Für eine eindeutige Identifikation wird ein deutlich hochauflösender Sensor benötigt.

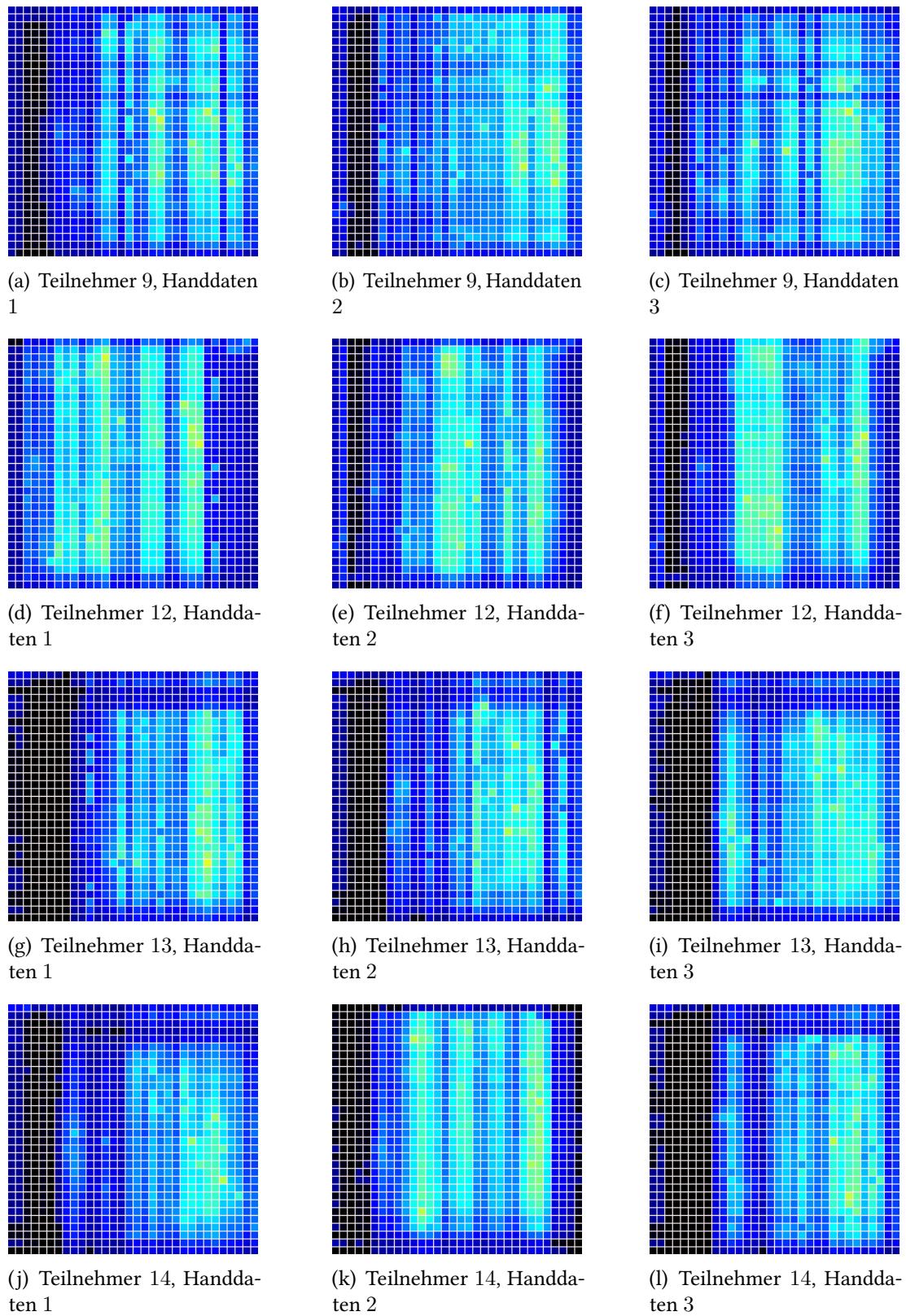


Abbildung 6.6.: Vergleich unterschiedlicher Handdaten

7. Zusammenfassung und Ausblick

Viele Menschen besitzen heute neben Smartphones noch zusätzliche mobile Geräte. Zu diesen Geräten gehören auch Smartwatches und Smartglasses, welche von Natur aus sehr klein sind. Möchte man solche Geräte unterwegs nutzen, ist es einerseits sehr praktisch, dass diese so klein sind, da sie nicht viel Platz wegnehmen. Andererseits muss auch mit diesen Geräten zufriedenstellend interagiert werden können. Bisher unterstützen solche Geräte eine simple Touch-Eingabe über integrierte Touch-sensitive Bereiche, sowie einfache Wischgesten. Zudem sind Spracheingaben mit bestimmten Kommandos möglich, was auch eine Texteingabe ermöglicht. Allerdings ist die Spracheingabe nicht in allen Umgebungen immer angebracht oder möglich.

Durch das Verwenden von berührungsempfindlichen Stoffen besteht nun die Möglichkeit den Interaktionsraum insbesondere für kleine, mobile Geräte zu vergrößern und neue Eingabemethoden zu entwickeln. Zudem können diese intelligenten Stoffe direkt in die Kleidung integriert werden, sodass keine zusätzlichen Geräte für die Eingabe verwendet werden müssen. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird ein intelligenter Stoff am Unterarm verwendet um über Funk verbundene, externe Geräte direkt zu manipulieren. Studien [TGM⁺99, TGZM02, SAK⁺14] haben gezeigt, dass die Position am Unterarm für Interaktionen mit berührungsempfindlichen Stoffen geeignet ist und weitere Studien [PCG⁺13, DPZ⁺14] haben gezeigt, dass diese Interaktionen am Unterarm auch sozial akzeptiert werden. Für die Erkennung von Berührungen wird die Elektronik des zur Verfügung gestellte resistiven Sensors [ZCSL14] vom Deutschen Forschungszentrum für künstliche Intelligenz verwendet. Bei dem dazugehörigen Sensorstoff haben die Punkte, an denen Berührungen erkannt werden können, einen Abstand von einem Zentimeter. Für eine Verwendung am Unterarm ist dieser originale Sensorstoff jedoch ungeeignet, da dieser Stoff mit einer Größe von $32 \times 32\text{cm}^2$ deutlich zu groß ist und Berührungen an möglichst vielen Punkten am Unterarm erkannt werden sollen. Daher wurde ein berührungsempfindlicher Stoff mit einer Größe von $16 \times 16\text{cm}^2$ erstellt, der in der Lage ist Berührungen an 32×32 Punkten zu erkennen. In Abbildung 7.1 ist dieser Stoff an einem Langarmshirt befestigt dargestellt.

Als Prototyp zur Interaktion mit mobilen Geräten wurde eine Fitness-Applikation für eine Smartwatch entwickelt, welche über Gesten-Eingaben auf dem intelligenten Stoff gesteuert werden kann. Für die Interaktion können zum einen sowohl richtungsunabhängige als auch richtungsabhängige Strichgesten erkannt werden, zum anderen besteht die Möglichkeit auch Tippgesten, welche mit einem Finger ausgeführt werden, zu erkennen. Der erstellte Prototyp wurde mit einer Benutzerstudie evaluiert. Hierbei wurde die Gesten-basierte Eingabe für die Fitness-Applikation mit einer Button-basierten Eingabe verglichen. Bei der Gesten-basierten

7. Zusammenfassung und Ausblick



Abbildung 7.1.: Berührungsempfindlicher Stoff am Unterarm

Eingabemethode waren die Teilnehmer im Schnitt schneller als bei der Button-basierten Applikation. Allerdings sind bei der Gesten-basierten Eingabe auch mehr Fehler aufgetreten. Auch im Bereich der Benutzerfreundlichkeit schnitt die Button-basierte Applikation besser ab.

Bei der Befragung während der Benutzerstudie zur Fitness-Applikation gaben die Teilnehmer an, dass sie es sich vorstellen könnten, berührungsempfindliche Stoffe zur Interaktion zu verwenden. Als Anwendungen können sich die Teilnehmer hier einerseits vorstellen, ihr Smartphone zu steuern, indem sie Anrufe annehmen oder ablehnen oder auf Benachrichtigungen zu reagieren. Andererseits sind für die Teilnehmer auch die Steuerung einer Musikanwendung oder die Medienverwaltung am Heimkinosystem denkbar.

Außerdem wurde im Rahmen der Diplomarbeit ein Prototyp zur Identifikation von Handabdrücken entwickelt. Die Idee hierbei ist es die Möglichkeit zu schaffen eine Authentifizierung durch eine Identifikation von biometrischen Handdaten zu ermöglichen. Zur Identifikation soll der Benutzer dann seinen Arm umfassen. Die so aufgenommenen Handdaten werden dann auf Merkmale untersucht und dann anschließend anhand schon bekannter Handdaten klassifiziert. Auch zu diesem Anwendungsfall wurde eine Benutzerstudie durchgeführt. Hierbei wurde von allen Probanden ein Satz Handdaten aufgezeichnet mit denen anschließend der entwickelte Algorithmus evaluiert wurde. Die korrekte Erkennung von Handdaten liegt hier bei 74.79 % und ist somit bisher nicht ausreichend. Um eine zuverlässige Identifikation von Handdaten durchführen zu können, muss ein hochauflösender Sensor verwendet werden um Unterschiede zwischen den einzelnen Handdaten, wie zum Beispiel bei der Handgröße, genauer erkennen zu können.

Ausblick

Bei den implementierten Anwendungsfällen handelt es sich um Prototypen. Möchte man diese Anwendungen marktreif realisieren, müssen vor allem die physikalischen Bestandteile verbessert werden. Zuerst sollte ein Sensor mit einer höheren Auflösung verwendet werden. Die Auflösung von maximal 32×32 Punkten ist für viele mögliche Anwendungen zu unpräzise und daher ungeeignet. Zudem sollte ein kapazitiver Sensor in Betracht gezogen werden – bei dem verwendeten resistiven Sensor können durch Spannungen am Arm verursachte, fehlerhafte, real nicht existente Berührungen erkannt werden. Zudem könnte dadurch auch das anhaltende Rauschen vermieden werden. Außerdem sollte der Sensor direkt über Funk mit dem zu steuernden Gerät zu kommunizieren können, sodass kein zusätzliches Gerät verwendet werden muss. Für eine Alltagstauglichkeit muss auch bedacht werden, dass der intelligente Stoff waschbar sein muss – die gesamte Elektronik des Sensors sollte also abnehmbar sein.

Bei der Software könnte die Gesten-Erkennung erweitert werden. Zukünftig könnten auch auch Multi-Touch-Gesten, zum Beispiel Pinch-Gesten, erkannt werden. Außerdem ist es denkbar, dass die berührungsempfindlichen Stoffe in unterschiedliche Bereiche unterteilt werden. Somit könnten dann Berührungen je nach Bereich unterschiedliche Aktionen auslösen.

Zudem könnten durch die Anwendung von textilen Displays auch Menüs und virtuelle Buttons auf der Kleidung anzeigen und in Verbindung mit berührungsempfindlichen Stoffen zur Interaktion verwendet werden.

Anhang

A. Anwendungsfall: Steuern einer Fitnessapplikation

A.1. Implementierung

A.1.1. Klassendiagramm

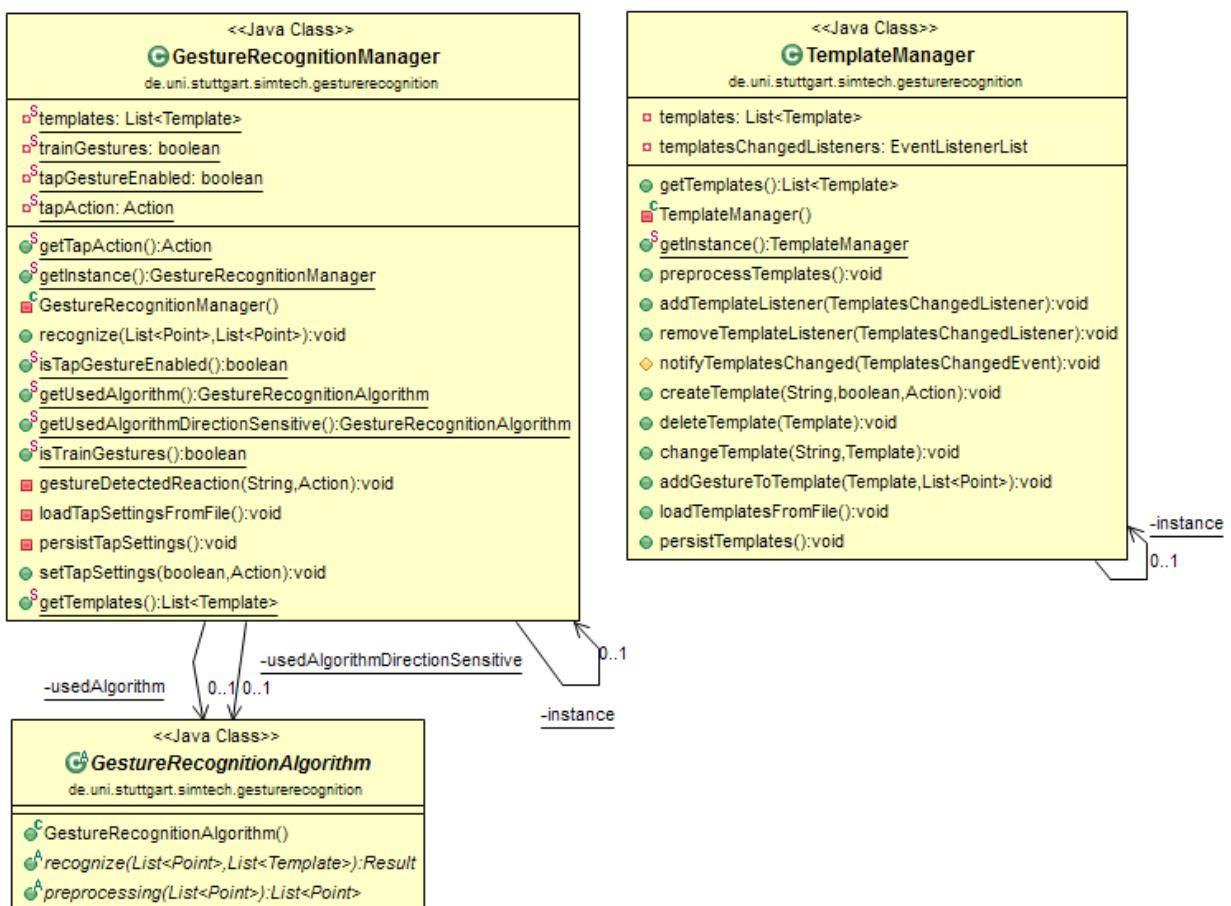


Abbildung A.1.: Klassendiagramm zur Gestenerkennung

A. Anwendungsfall: Steuern einer Fitnessapplikation

A.1.2. Sequenzdiagramm

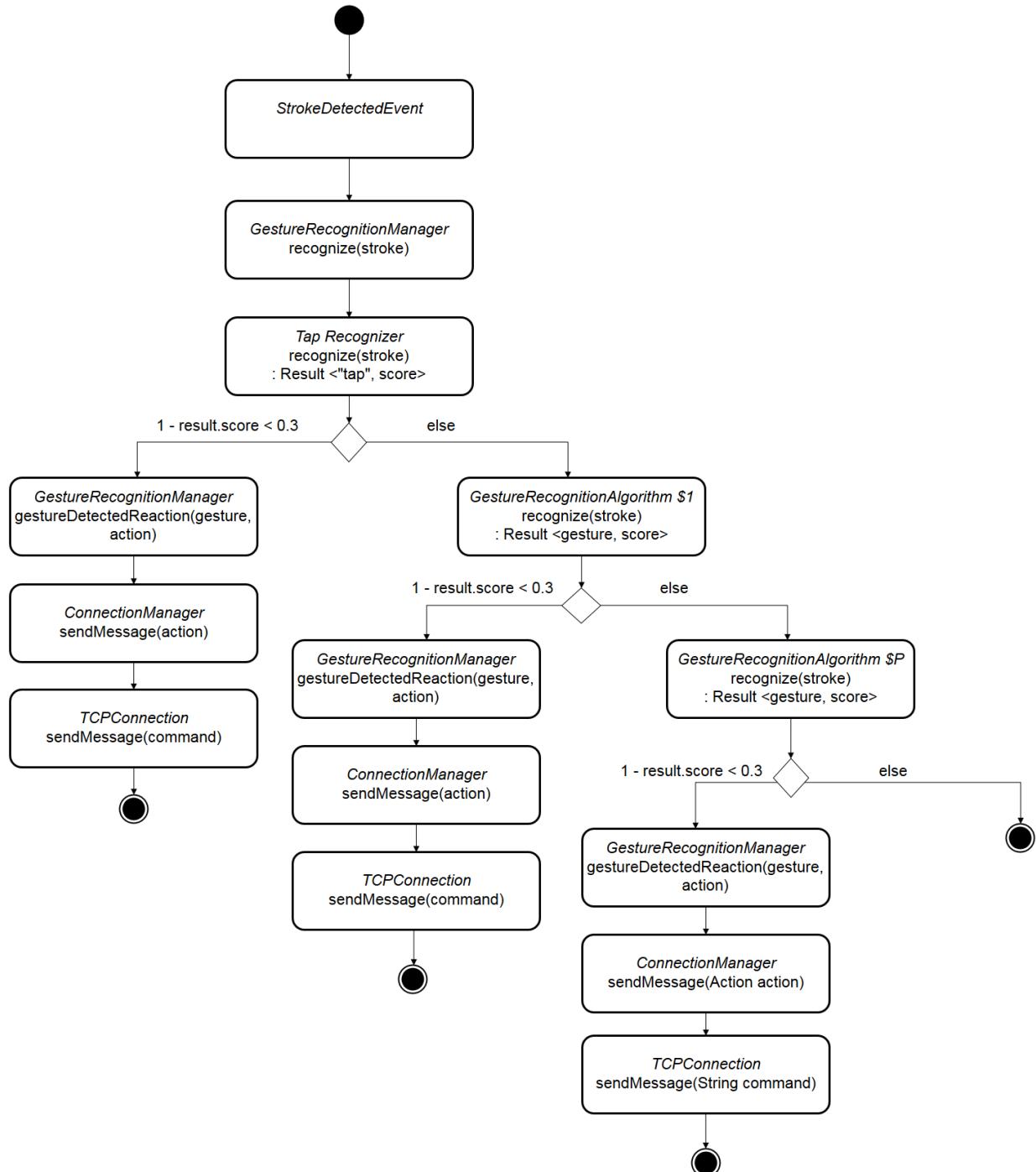


Abbildung A.2.: UML-Aktivitätsdiagramm zur Gestenerkennung

A.2. Fragebögen zur Benutzerstudie

A.2.1. Eingangsfragebogen

Personliche Daten

Teilnehmer Nr. *

Name: *

Alter: *

Geschlecht: * männlich weiblich

Beruf: * (ggf. auch Studiengang)

Höchster Abschluss: *

Einschätzungen

Das System empfand ich als: * einfach hässlich praktisch stilvoll voraussagbar minderwertig phantasielos gut verwirrend lahm kompliziert schön unpraktisch stillos unberechenbar wertvoll kreativ schlecht übersichtlich fesselnd

A. Anwendungsfall: Steuern einer Fitnessapplikation

A.2.2. System Usability Scale

System Usability Scale

Ich denke, ich würde dieses System häufig benutzen wollen *

lehne ich vollkommen ab stimme ich vollkommen zu

Ich habe das System als unnötig komplex wahrgenommen *

lehne ich vollkommen ab stimme ich vollkommen zu

Ich hatte den Eindruck, dass das System leicht zu benutzen ist *

lehne ich vollkommen ab stimme ich vollkommen zu

Ich denke, ich würde die Unterstützung eines Fachexperten benötigen, um dieses System verwenden zu können *

lehne ich vollkommen ab stimme ich vollkommen zu

Ich hatte den Eindruck, dass die verschiedenen Funktionen des Systems gut zusammen spielen *

lehne ich vollkommen ab stimme ich vollkommen zu

Ich denke, das System enthielt zu viele Inkonsistenzen *

lehne ich vollkommen ab stimme ich vollkommen zu

Ich stelle mir vor, dass die meisten Leute die Verwendung des Systems schnell lernen könnten *

lehne ich vollkommen ab stimme ich vollkommen zu

Ich fand, dass das System sehr umständlich zu benutzen ist *

lehne ich vollkommen ab stimme ich vollkommen zu

Bei der Benutzung des Systems fühlte ich mich wohl und selbstsicher *

lehne ich vollkommen ab stimme ich vollkommen zu

Ich musste viele Dinge lernen, bevor ich das System bedienen konnte *

lehne ich vollkommen ab stimme ich vollkommen zu

A.2. Fragebögen zur Benutzerstudie

Benutzerfreundlichkeit

Insgesamt würde ich die Benutzerfreundlichkeit einstufen als: *

Schrecklich Schlecht OK Gut Ausgezeichnet

A.2.3. AttrakDiff Mini

Einschätzungen

Das System empfand ich als: *

einfach kompliziert

Das System empfand ich als: *

hässlich schön

Das System empfand ich als: *

praktisch unpraktisch

Das System empfand ich als: *

stilvoll stillos

Das System empfand ich als: *

voraussagbar unberechenbar

Das System empfand ich als: *

minderwertig wertvoll

Das System empfand ich als: *

phantasielos kreativ

Das System empfand ich als: *

gut schlecht

Das System empfand ich als: *

verwirrend übersichtlich

Das System empfand ich als: *

lahm fesselnd

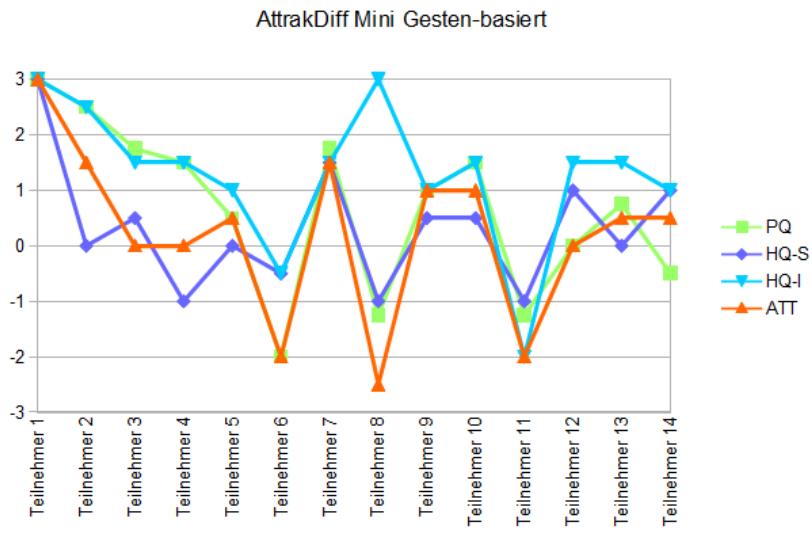
A. Anwendungsfall: Steuern einer Fitnessapplikation

A.2.4. Abschlussfragebogen

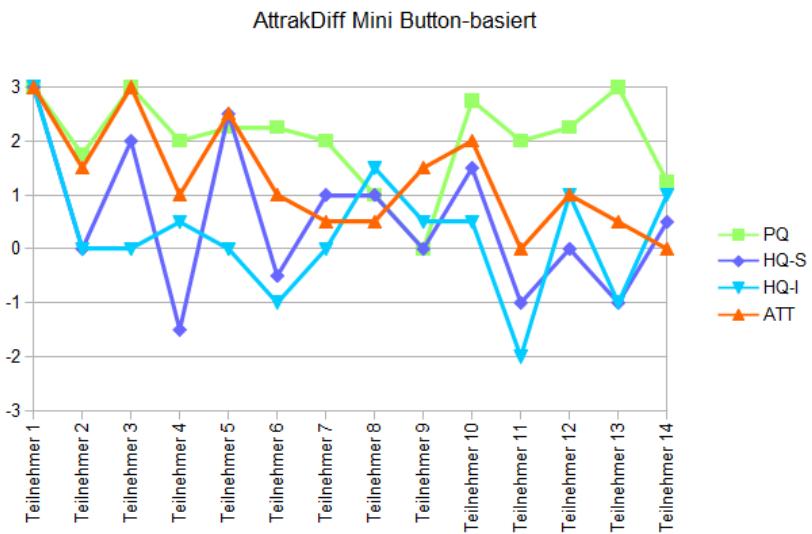
Daten	
Teilnehmer Nr.: *	<input type="text"/>
Abschließende Fragen	
Welche Modalität hat Ihnen besser gefallen? *	Modalität 1
Welche Anwendungen können sie sich noch für die gestenbasierte Eingabe vorstellen?	
Wo könnten Sie sich sonst noch vorstellen berührungsempfliche Stoffe zu verwenden?	
Möglichkeit für Kommentare	

A.3. Ergebnisse

A.3.1. AttrakDiff



(a) Ergebnisse für die Gesten-basierte Applikation



(b) Ergebnisse für die Button-basierte Applikation

Abbildung A.3.: AttrakDiff Mini

A. Anwendungsfall: Steuern einer Fitnessapplikation

A.3.2. Durchführungszeiten

	Geste				Button			
	Start	Pause	Runde	Stop	Start	Pause	Runde	Stop
Teilnehmer 1	1.38	0.85	1.58	0.78	2.67	1.37	1.08	3.44
Teilnehmer 2	1.10	0.97	1.18	1.30	0.66	0.79	0.87	1.96
Teilnehmer 3	2.25	1.49	2.53	1.06	1.05	1.47	1.12	2.44
Teilnehmer 4	1.93	1.30	2.36	1.78	1.41	1.30	1.56	5.24
Teilnehmer 5	2.16	1.28	2.41	1.78	2.29	1.47	1.39	4.74
Teilnehmer 6	2.38	0.66	1.32	1.34	1.80	1.66	1.43	3.52
Teilnehmer 7	1.29	0.89	1.17	1.06	1.38	0.89	0.99	2.32
Teilnehmer 8	2.18	1.80	2.26	1.58	1.43	1.38	1.73	5.38
Teilnehmer 9	1.11	0.89	1.51	0.84	2.05	1.02	1.12	2.06
Teilnehmer 10	1.74	1.35	2.57	1.54	1.45	1.67	1.46	2.32
Teilnehmer 11	2.10	0.94	1.86	1.28	1.81	1.51	1.89	1.78
Teilnehmer 12	1.58	0.91	1.44	0.88	2.48	1.43	1.24	2.30
Teilnehmer 13	1.89	1.52	1.96	1.16	1.62	1.54	1.59	3.38
Teilnehmer 14	1.52	1.11	1.56	1.44	1.06	1.49	0.96	2.04

Tabelle A.1.: Mittelwerte der Durchführungszeiten pro Teilnehmer und Aufgabe in Sekunden

A.3.3. Fehlerraten

	Geste				Button			
	Start	Pause	Runde	Stop	Start	Pause	Runde	Stop
Teilnehmer 1	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00
Teilnehmer 2	0.33	0.00	0.00	1.00	0.33	0.00	0.00	0.00
Teilnehmer 3	0.33	0.00	0.50	1.00	0.33	0.00	0.00	0.00
Teilnehmer 4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Teilnehmer 5	0.33	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Teilnehmer 6	0.67	0.00	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	0.00
Teilnehmer 7	0.00	0.00	1.00	1.00	0.33	0.00	0.50	1.00
Teilnehmer 8	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00
Teilnehmer 9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00
Teilnehmer 10	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Teilnehmer 11	0.33	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Teilnehmer 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00
Teilnehmer 13	0.33	0.50	0.50	0.00	0.33	0.50	0.00	0.00
Teilnehmer 14	0.33	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabelle A.2.: Mittelwerte der Fehlerraten pro Teilnehmer und Aufgabe

Literaturverzeichnis

- [Ack13] E. Ackerman. Google gets in your face [2013 tech to watch]. *Spectrum, IEEE*, 50(1):26–29, 2013.
- [ALS08] D. Ashbrook, K. Lyons, T. Starner. An investigation into round touchscreen wrist-watch interaction. In *Proceedings of the 10th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services*, S. 311–314. ACM, 2008.
- [ASKS13] F. Alt, A. S. Shirazi, T. Kubitz, A. Schmidt. Interaction techniques for creating and exchanging content with public displays. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, S. 1709–1718. ACM, 2013.
- [BG] M. Bhardwaj, M. Garg. WearUI: An Elegant Wearable User Interface for MobileDevices. URL https://wiki.cc.gatech.edu/ccg/_media/classes/muc/fall08/wearui_paper_2.pdf?id=classes%3Amuc%3Afall08%3Aproject2papers&cache=cache.
- [BIH08] A. Butler, S. Izadi, S. Hodges. SideSight: multi-touch interaction around small devices. In *Proceedings of the 21st annual ACM symposium on User interface software and technology*, S. 201–204. ACM, 2008.
- [BKM09] A. Bangor, P. Kortum, J. Miller. Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale. *Journal of usability studies*, 4(3):114–123, 2009.
- [Bro96] J. Brooke. SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189(194):4–7, 1996.
- [CKV11] S. H. Cheng, K. Kim, R. Vertegaal. TagURit: a proximity-based game of tag using lumalive e-textile displays. In *CHI’11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, S. 1147–1152. ACM, 2011.
- [CKY⁺13] A. Colaço, A. Kirmani, H. S. Yang, N.-W. Gong, C. Schmandt, V. K. Goyal. Mime: Compact, low power 3d gesture sensing for interaction with head mounted displays. In *Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology*, S. 227–236. ACM, 2013.
- [Cut] CuteCircuit. T-Shirt mit OS. URL <http://cutecircuit.com/collections/t-shirt-os/>.

- [DHR15] D. Doppelstein, P. Hock, E. Rukzio. Belt: An Unobtrusive Touch Input Device for Head-worn Displays. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, S. 2135–2138. ACM, New York, NY, USA, 2015. doi:10.1145/2702123.2702450. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2702123.2702450>.
- [DKD14] M. D. Dunlop, A. Komninos, N. Durga. Towards high quality text entry on smart-watches. In *CHI'14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, S. 2365–2370. ACM, 2014.
- [DPZ⁺14] L. E. Dunne, H. Profit, C. Zeagler, J. Clawson, S. Gilliland, E. Y.-L. Do, J. Budd. The social comfort of wearable technology and gestural interaction. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2014 36th Annual International Conference of the IEEE*, S. 4159–4162. IEEE, 2014.
- [Ele] Eleksen. Smart Fabric. URL <http://www.talk2myshirt.com/blog/archives/82>.
- [FBC⁺02] M. D. Fleetwood, M. D. Byrne, P. Centgraf, K. Dudziak, B. Lin, D. Mogilev. An evaluation of text-entry in Palm OS–Graffiti and the virtual keyboard. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Band 46, S. 617–621. SAGE Publications, 2002.
- [FSB⁺15] M. Funk, S. Schneegass, M. Behringer, N. Henze, A. Schmidt. An Interactive Curtain for Media Usage in the Shower. In *Proceedings of the 4th International Symposium on Pervasive Displays*, PerDis '15, S. 225–231. ACM, New York, NY, USA, 2015. doi:10.1145/2757710.2757713. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2757710.2757713>.
- [FHS14] M. Funk, A. Sahami, N. Henze, A. Schmidt. Using a touch-sensitive wristband for text entry on smart watches. In *CHI'14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, S. 2305–2310. ACM, 2014.
- [GCF15] T. Grossman, X. A. Chen, G. Fitzmaurice. Typing on Glasses: Adapting Text Entry to Smart Eyewear. In *Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, S. 144–152. ACM, 2015.
- [Geea] T. Geek. Interactive Drum Shirt. URL <http://www.geekalerts.com/electronic-drum-kit-t-shirt/>.
- [Geeb] T. Geek. Interactive Guitar Shirt. URL <http://www.thinkgeek.com/product/c498/>.
- [Geec] T. Geek. Interactive Keyboard Shirt. URL <http://technabob.com/blog/2010/11/12/thinkgeek-synthesizer-shirt/>.
- [Goo] Google. Project Jaquard. URL <https://www.google.com/atap/project-jacquard/>.
- [Gov09] D. Govender. Clothing with Removable Electroluminescent Panels, 2009. US Patent App. 12/510,764.

- [GR93] D. Goldberg, C. Richardson. Touch-typing with a stylus. In *Proceedings of the INTERACT'93 and CHI'93 conference on Human factors in computing systems*, S. 80–87. ACM, 1993.
- [HBK15] C. Holz, S. Buthpitiya, M. Knaust. Bodyprint: Biometric User Identification on Mobile Devices Using the Capacitive Touchscreen to Scan Body Parts. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, S. 3011–3014. ACM, New York, NY, USA, 2015. doi:10.1145/2702123.2702518. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2702123.2702518>.
- [Heia] Heise. Project Jaquard. URL <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Project-Jacquard-Google-und-Levi-s-wollen-Kleidung-zu-Trackpads-machen-2671597.html>.
- [Heib] B. S. Heise. Interaktives T-Shirt. URL <http://www.heise.de/tr/artikel/Interaktives-T-Shirt-1714121.html>.
- [HH09] C. Harrison, S. E. Hudson. Abracadabra: wireless, high-precision, and unpowered finger input for very small mobile devices. In *Proceedings of the 22nd annual ACM symposium on User interface software and technology*, S. 121–124. ACM, 2009.
- [HHIL15] J. Hong, S. Heo, P. Isokoski, G. Lee. SplitBoard: A Simple Split Soft Keyboard for Wristwatch-sized Touch Screens. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, S. 1233–1236. ACM, 2015.
- [HHJ⁺14] J. Ham, J. Hong, Y. Jang, S. H. Ko, W. Woo. Poster: Wearable input device for smart glasses based on a wristband-type motion-aware touch panel. In *3D User Interfaces (3DUI), 2014 IEEE Symposium on*, S. 147–148. IEEE, 2014.
- [HIWB14] F. Heller, S. Ivanov, C. Wacharamanotham, J. Borchers. FabriTouch: exploring flexible touch input on textiles. In *Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers*, S. 59–62. ACM, 2014.
- [HM10] M. Hassenzahl, A. Monk. The inference of perceived usability from beauty. *Human–Computer Interaction*, 25(3):235–260, 2010.
- [HPC14] D. Hughes, H. Profita, N. Correll. SwitchBack: an on-body RF-based gesture input device. In *Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers*, S. 63–66. ACM, 2014.
- [HSD73] R. Haralick, K. Shanmugam, I. Dinstein. Textural Features for Image Classification. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, SMC-3(6):610–621, 1973. doi: 10.1109/TSMC.1973.4309314.
- [HSP⁺08] P. Holleis, A. Schmidt, S. Paasovaara, A. Puikkonen, J. Häkkilä. Evaluating capacitive touch input on clothes. In *Proceedings of the 10th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services*, S. 81–90. ACM, 2008.

- [HTT⁺14] D.-Y. Huang, M.-C. Tsai, Y.-C. Tung, M.-L. Tsai, Y.-T. Yeh, L. Chan, Y.-P. Hung, M. Y. Chen. TouchSense: expanding touchscreen input vocabulary using different areas of users' finger pads. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, S. 189–192. ACM, 2014.
- [KGC⁺09] N. Komor, S. Gilliland, J. Clawson, M. Bhardwaj, M. Garg, C. Zeagler, T. Starner. Is It Gropable?—Assessing the Impact of Mobility on Textile Interfaces. In *Wearable Computers, 2009. ISWC'09. International Symposium on*, S. 71–74. IEEE, 2009.
- [K HLS07] J. Kim, J. He, K. Lyons, T. Starner. The gesture watch: A wireless contact-free gesture based wrist interface. In *Wearable Computers, 2007 11th IEEE International Symposium on*, S. 15–22. IEEE, 2007.
- [KMPB⁺14] J. Knibbe, D. Martinez Plasencia, C. Bainbridge, C.-K. Chan, J. Wu, T. Cable, H. Munir, D. Coyle. Extending interaction for smart watches: enabling bimanual around device control. In *CHI'14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, S. 1891–1896. ACM, 2014.
- [KSPL06] S. Kim, M. Sohn, J. Pak, W. Lee. One-key keyboard: a very small QWERTY keyboard supporting text entry for wearable computing. In *Proceedings of the 18th Australia conference on Computer-Human Interaction: Design: Activities, Artefacts and Environments*, S. 305–308. ACM, 2006.
- [Kuh55] H. W. Kuhn. The Hungarian method for the assignment problem. *Naval research logistics quarterly*, 2(1-2):83–97, 1955.
- [KWHB10] T. Karrer, M. Wittenhagen, F. Heller, J. Borchers. Pinstripe: eyes-free continuous input anywhere on interactive clothing. In *Adjunct proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology*, S. 429–430. ACM, 2010.
- [KWL⁺11] T. Karrer, M. Wittenhagen, L. Lichtschlag, F. Heller, J. Borchers. Pinstripe: eyes-free continuous input on interactive clothing. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, S. 1313–1322. ACM, 2011.
- [KWT14] K. Kuusk, S. Wensveen, O. Tomico. Crafting Qualities in Designing QR-coded Embroidery and Bedtime Stories. 2014.
- [Lar05] D. T. Larose. k-Nearest Neighbor Algorithm. *Discovering Knowledge in Data: An Introduction to Data Mining*, S. 90–106, 2005.
- [Lio13] T. Liotta. Interactive electronic apparel incorporating a guitar image, 2013. US Patent 8,476,519.
- [LS09] S. C. Lee, T. Starner. Mobile gesture interaction using wearable tactile displays. In *CHI'09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, S. 3437–3442. ACM, 2009.

- [LSC⁺15] L. A. Leiva, A. Sahami, A. Catala, N. Henze, A. Schmidt. Text Entry on Tiny QWERTY Soft Keyboards. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, S. 669–678. ACM, New York, NY, USA, 2015. doi:10.1145/2702123.2702388. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2702123.2702388>.
- [LV11] J. Lepinski, R. Vertegaal. Cloth displays: interacting with drapable textile screens. In *Proceedings of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction*, S. 285–288. ACM, 2011.
- [LXC⁺14] G. Laput, R. Xiao, X. Chen, S. E. Hudson, C. Harrison. Skin buttons: cheap, small, low-powered and clickable fixed-icon laser projectors. In *Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology*, S. 389–394. ACM, 2014.
- [LYL08] Y. Liu, J. Yang, M. Liu. Recognition of QR Code with mobile phones. In *Control and Decision Conference, 2008. CCDC 2008. Chinese*, S. 203–206. IEEE, 2008.
- [MS] S. Mayer, G. Sörös. User Interface Beaming.
- [OHOW13] S. Oney, C. Harrison, A. Ogan, J. Wiese. ZoomBoard: a diminutive qwertype soft keyboard using iterative zooming for ultra-small devices. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, S. 2799–2802. ACM, 2013.
- [OL14] I. Oakley, D. Lee. Interaction on the edge: offset sensing for small devices. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, S. 169–178. ACM, 2014.
- [PCG⁺13] H. P. Profità, J. Clawson, S. Gilliland, C. Zeagler, T. Starner, J. Budd, E. Y.-L. Do. Don't mind me touching my wrist: a case study of interacting with on-body technology in public. In *Proceedings of the 2013 International Symposium on Wearable Computers*, S. 89–96. ACM, 2013.
- [PCH⁺14] M. Pakanen, A. Colley, J. Häkkilä, J. Kildal, V. Lantz. Squeezy bracelet: designing a wearable communication device for tactile interaction. In *Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Fun, Fast, Foundational*, S. 305–314. ACM, 2014.
- [PMWP00] P. Phillips, A. Martin, C. Wilson, M. Przybocski. An introduction evaluating biometric systems. *Computer*, 33(2):56–63, 2000. doi:10.1109/2.820040.
- [PO97] E. R. Post, M. Orth. Smart fabric, or. In *iswc*, S. 167. IEEE, 1997.
- [PORG00] E. R. Post, M. Orth, P. Russo, N. Gershenfeld. E-broidery: Design and fabrication of textile-based computing. *IBM Systems journal*, 39(3.4):840–860, 2000.
- [Rek01] J. Rekimoto. Gesturewrist and gesturepad: Unobtrusive wearable interaction devices. In *Wearable Computers, 2001. Proceedings. Fifth International Symposium on*, S. 21–27. IEEE, 2001.

- [RG06] F. Rosella, R. Genz. Wearable haptic telecommunication device and system, 2006. US Patent App. 11/515,690.
- [RG13] F. Rosella, R. T. Genz. Multimedia communication and display device, 2013. US Patent App. 14/045,181.
- [RN02] M. T. Raghunath, C. Narayanaswami. User interfaces for applications on a wrist watch. *Personal and Ubiquitous Computing*, 6(1):17–30, 2002.
- [Ros] Rosner. Rosner Jacket. URL <http://www.infineon.com/cms/de/about-infineon/press/press-releases/2004/132017.html>.
- [SAK⁺14] J. Speir, R. R. Ansara, C. Killby, E. Walpole, A. Girouard. Wearable remote control of a mobile device: comparing one-and two-handed interaction. In *Proceedings of the 16th international conference on Human-computer interaction with mobile devices & services*, S. 489–494. ACM, 2014.
- [SGa] G. Stern und Schatz GmbH. Angebot: T-Shirt mit eigenem Barcode. URL <https://www.getdigital.de/registrierter-buerger.html>.
- [SGb] G. Stern und Schatz GmbH. Angebot: T-Shirt mit eigenem QR-Code bestellen. URL <https://www.getdigital.de/Dein-QR-Code.html>.
- [SGc] G. Stern und Schatz GmbH. Animiertes Facebook Shirt. URL <https://www.getdigital.de/Animiertes-Facebook-Shirt.html>.
- [Sha] ShadowTS. Biker Jacket. URL <http://www.talk2myshirt.com/blog/archives/80/>.
- [SHB11] T. S. Saponas, C. Harrison, H. Benko. PocketTouch: through-fabric capacitive touch input. In *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*, S. 303–308. ACM, 2011.
- [SHZ⁺15] S. Schneegass, M. Hassib, B. Zhou, J. Cheng, F. Seoane, O. Amft, P. Lukowicz, A. Schmidt. SimpleSkin: Towards Multipurpose Smart Garments. In *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers, UbiComp '15*, S. 241–244. ACM, New York, NY, USA, 2015. doi:10.1145/2800835.2800935. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2800835.2800935>.
- [SJL05] T. Schiphorst, N. Jaffe, R. Lovell. Threads of recognition: Using touch as input with directionally conductive fabric. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems*. 2005.
- [TGM⁺99] B. Thomas, K. Grimmer, D. Makovec, J. Zucco, B. Gunther. Determination of placement of a body-attached mouse as a pointing input device for wearable computers. In *iswc*, S. 193. IEEE, 1999.

- [TGZM02] B. Thomas, K. Grimmer, J. Zucco, S. Milanese. Where does the mouse go? An investigation into the placement of a body-attached touchpad mouse for wearable computers. *Personal and Ubiquitous computing*, 6(2):97–112, 2002.
- [TIY⁺11] S. Takamatsu, T. Imai, T. Yamashita, T. Kobayashi, K. Miyake, T. Itoh. Flexible fabric keyboard with conductive polymer-coated fibers. In *Sensors, 2011 IEEE*, S. 659–662. IEEE, 2011.
- [VAW12] R.-D. Vatavu, L. Anthony, J. O. Wobbrock. Gestures as point clouds: a \$ P recognizer for user interface prototypes. In *Proceedings of the 14th ACM international conference on Multimodal interaction*, S. 273–280. ACM, 2012.
- [Wika] Wikipedia. Barcode. URL <https://de.wikipedia.org/wiki/Strichcode>.
- [Wikb] Wikipedia. Schussfäden. URL <https://de.wikipedia.org/wiki/Schussfaden>.
- [WS06] A. Wakita, M. Shibutani. Mosaic textile: wearable ambient display with non-emissive color-changing modules. In *Proceedings of the 2006 ACM SIGCHI international conference on Advances in computer entertainment technology*, S. 48. ACM, 2006.
- [WW11] D. Wigdor, D. Wixon. *Brave NUI world: designing natural user interfaces for touch and gesture*, Kapitel Chapter 18: The anatomy of a gesture, S. 127–135. Elsevier, 2011.
- [WWL07] J. O. Wobbrock, A. D. Wilson, Y. Li. Gestures without libraries, toolkits or training: a \$1 recognizer for user interface prototypes. In *Proceedings of the 20th annual ACM symposium on User interface software and technology*, S. 159–168. ACM, 2007.
- [XLH14] R. Xiao, G. Laput, C. Harrison. Expanding the input expressivity of smartwatches with mechanical pan, twist, tilt and click. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, S. 193–196. ACM, 2014.
- [YHNR15] S. H. Yoon, K. Huo, V. P. Nguyen, K. Ramani. TIMMi: Finger-worn Textile Input Device with Multimodal Sensing in Mobile Interaction. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, S. 269–272. ACM, 2015.
- [ZCSL14] B. Zhou, J. Cheng, M. Sundholm, P. Lukowicz. From smart clothing to smart table cloth: Design and implementation of a large scale, textile pressure matrix sensor. In *Architecture of Computing Systems–ARCS 2014*, S. 159–170. Springer, 2014.
- [Zeg] Zegna. Zegna Sport Jacket. URL <https://www.youtube.com/watch?v=1YrlVWrFYEY>.
- [ZGAS13] C. Zeagler, S. Gilliland, S. Audy, T. Starner. Can i wash it?: the effect of washing conductive materials used in making textile based wearable electronic interfaces. In *Proceedings of the 2013 International Symposium on Wearable Computers*, S. 143–144. ACM, 2013.

Literaturverzeichnis

- [ZGPS12] C. Zeagler, S. Gilliland, H. Profit, T. Starner. Textile interfaces: Embroidered jog-wheel, beaded tilt sensor, twisted pair ribbon, and sound sequins. In *Wearable Computers (ISWC), 2012 16th International Symposium on*, S. 60–63. IEEE, 2012.

Alle URLs wurden zuletzt am 12. 10. 2015 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