



hochschule mannheim

**Best Practices zur Umsetzung von
interaktiven Produkten basierend auf textilen
Leiterbahnen**

Cristin Volz

Bachelor-Thesis
zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science (B.Sc.)
Studiengang Informatik

Fakultät für Informatik
Hochschule Mannheim

15.02.2017

Betreuer

Prof. Kirstin Kohler, Hochschule Mannheim
Prof. Thomas Smits, Hochschule Mannheim

Volz, Cristin:

Best Practices zur Umsetzung von
interaktiven Produkten basierend auf textilen
Leiterbahnen / Cristin Volz. –
Bachelor-Thesis, Mannheim: Hochschule Mannheim, 2017. 45 Seiten.

Volz, Cristin:

Best practices for implementing interactive products based on textile traces / Cristin Volz.
–
Bachelor Thesis, Mannheim: University of Applied Sciences Mannheim, 2017. 45 pages.

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Ich bin damit einverstanden, dass meine Arbeit veröffentlicht wird, d. h. dass die Arbeit elektronisch gespeichert, in andere Formate konvertiert, auf den Servern der Hochschule Mannheim öffentlich zugänglich gemacht und über das Internet verbreitet werden darf.

Mannheim, 15.02.2017

Cristin Volz

Abstract

Best Practices zur Umsetzung von interaktiven Produkten basierend auf textilen Leiterbahnen

Diese Arbeit untersucht Lösungsansätze für die Implementierung und Verarbeitung von leitfähigem Garn, das als Substitut für konventionelle Kabelverbindungen, in interaktiven Produkten verwendet werden kann. Für diese Arbeit wurde leitfähiges Garn auf verschiedene Weise getestet, die vielversprechendsten Ansätze werden beschrieben und verglichen. Zudem wird exemplarisch eine Anleitung für die Herstellung einer interaktiven Fahrradjacke vorgestellt, die die Verwendungsmöglichkeiten von leitfähigem Garn illustrieren soll.

Best practices for implementing interactive products based on textile traces

This study examines solutions to the implementation and processing of conductive thread which can be used as a substitute for conventional cable connections in interactive products. For this study, conductive thread was tested in various ways. The most promising approaches were described and compared here. In order to illustrate the possible uses of conductive thread, a step-by-step instruction for fabricating an interactive cycling jacket is given.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Grundlagen	3
2.1 Begriffserklärung	3
2.2 Anwendungsgebiete	4
2.3 Technische Grundlagen	6
2.3.1 Leitfähiges Garn	6
2.3.2 FLORA	7
2.4 Verwandte Arbeiten	8
2.4.1 Gardeene!	9
2.4.2 Grabrics	9
2.4.3 Projekte mit Interactex	10
2.4.4 DIY Wearable Technology	11
3 Herleitung der Best Practices	15
3.1 Analyse Plush Game Controller	15
3.2 Fragestellung	16
3.3 Best Practice-Analyse	17
3.4 Durchführung der Analyse und Best Practices	18
3.4.1 Nachbauen des Plush Game Controllers	18
3.4.2 Best Practices	19
4 Interaktive Jacke für Fahrradfahrer	31
4.1 Problemstellung	31
4.2 Zielsetzung	31
4.3 Anleitung	32
4.3.1 Material	32
4.3.2 Schritt 1 - Vorbereitung	33
4.3.3 Schritt 2 - Module anbringen	36
4.3.4 Schritt 3 - Programmcode	41
5 Schlussbetrachtung	43
Abkürzungsverzeichnis	vii

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	ix
Abbildungsverzeichnis	xi
Literaturverzeichnis	xiii
Danksagung	xvii

Kapitel 1

Einleitung

Der Begriff Wearable Electronics beschreibt am Körper getragene Geräte, die in der Lage sind, Signale sensorisch zu erfassen, zu verarbeiten und das Resultat mit anderen Komponenten oder dem Träger zu kommunizieren. Schon seit den 1970er Jahren werden Wearable Electronics im medizinischen Bereich eingesetzt [Medical Design & Outsourcing, 2016]. Hierzu zählen beispielsweise Wearables aus den Bereichen Bewegungssensorik und Druckerfassung.

Eine neue Entwicklung hingegen ist die zunehmende Verbreitung in Form von Modeaccessoires, wie Smartwatches oder Fitnesstrackern [Pwc, 2015]. Dies sind Geräte, die spezialisiert auf eine überschaubare Anzahl von Anwendungsfällen sind und zusätzlich zur konventionellen Kleidung getragen werden.

In Zukunft wird die Integration von Wearable Electronics in Alltagskleidungsstücke eine maßgebliche Entwicklung im Bereich der Consumer Electronics darstellen [Berglin, 2013]. Produkte, bei denen Wearable Electronics in Kleidung integriert werden, werden mit dem Begriff Smart Clothes bezeichnet.

Die größte Herausforderung, bei der Gestaltung und Produktion von Smart Clothes, stellt die Einarbeitung von Leiterbahnen dar. Gewöhnliche Kabel und Drähte sind nicht dafür ausgelegt, in Textilien verarbeitet zu werden. Herkömmliche Kabelverbindungen sind aufgrund ihrer Steifigkeit und Größe nur sehr bedingt zum Einsatz in Textilien geeignet und können leicht durch den alltäglichen Umgang und der üblichen Pflege von Kleidung beschädigt werden.

Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist, zu untersuchen, wie leitfähiges Garn, als Substitut für herkömmliche Kabelverbindungen, am Besten verarbeitet und verwendet werden kann, um damit interaktive Produkte zu gestalten. In dieser Arbeit wird das leitfähige Garn auf verschiedene Weisen getestet und die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden dargestellt. Zudem wird exemplarisch eine Anleitung für die Herstellung einer intelligenten Fahrradjacke vorgestellt, die die Verwendungsmöglichkeiten des leitfähigen Garns illustrieren soll. Die Anleitung ermöglicht dem Leser einen praktischen Einstieg in die Verarbeitung des leitfähigen Garns.

Aufbau der Bachelor-Thesis

Die vorliegende Bachelor-Thesis besteht aus fünf Kapiteln. Das erste Kapitel (Einleitung) umfasst eine thematische Einleitung. Im zweiten Kapitel (Grundlagen) erfolgt eine Erklärung des Bergriffs Wearable Electronics aus der Perspektive der Bereiche Textilien und Elektronik. Es werden die technischen Grundlagen des leitfähigen Garns und des hierfür entwickelten Mikrocontrollers FLORA dargestellt. Des Weiteren werden Anwendungsgebiete und einige Beispielprojekte der Implementierung von leitfähigen Garn vorgestellt.

Im dritten Kapitel (Herleitung der Best Practices) werden die Best Practices im Umgang und in der Verarbeitung von leitfähigem Garn analysiert und bewertet. Dies wird anhand verschiedener Tests und einem Nachbau des Plush Game Controllers von B. Stern untersucht.

Das vierte Kapitel (Interaktive Jacke für Fahrradfahrer) liefert eine Schritt-für-Schritt-Anleitung für eine interaktive Fahrradjacke, bei der leitfähiges Garn verwendet wurde.

Eine zusammenfassende Übersicht der Best Practices, sowie ein Fazit und ein Ausblick befinden sich im abschließenden fünften Kapitel (Schlussbetrachtung).

Kapitel 2

Grundlagen

Dieses Kapitel beschreibt die technischen Grundlagen des leitfähigen Garns und des Mikrocontrollers FLORA. Des Weiteren werden verschiedene Anwendungsfelder und einige Beispiele für die derzeitige Anwendung dargestellt.

2.1 Begriffserklärung

In der Fachliteratur findet man viele unterschiedliche Begriffe bezüglich integrierter Elektronik in Bekleidung oder Textilien. Gängige Begriffe sind dabei Smart Clothes, intelligente Kleidung oder Smart Wearables. Diese beschreiben Kleidungsstücke, denen Elektronik hinzugefügt wird. Dabei werden ihre herkömmlichen Eigenschaften, wie zum Beispiel die Waschbarkeit, jedoch nicht beeinträchtigt [McCann und Bryson, 2009].

Unter Wearables versteht man im Allgemeinen elektronische Technologien, die man beispielsweise in Kleidungsstücken oder als Accessoire am Körper trägt [Pwc, 2015]. Häufig findet man auch Begriffe wie zum Beispiel Smart Textiles, Intelligent Textiles oder E-Textiles. Diese Begriffe beschreiben Textilien mit funktionalen Eigenschaften, die man nicht mit traditionellen Textilien verbindet [Cherenack und Van Pietersen, 2012]. Dazu gehört die Funktion der Textilien auf Einflüsse der Umwelt zu reagieren. Oft werden diese Begriffe für Werbezwecke verwendet und ähneln einander. Eine eindeutige Definition, die die Verbindung von Elektronik und Textil beschreibt, existiert nicht.

Robert Everest Newnham untersuchte verschiedene Materialien auf ihre Eigenschaften und teilte diese in eine achtstufige Intelligenzhierarchie ein [Carvajal Var-

gas, 2009]. Abbildung 2.1 zeigt diese Einteilung. Das in dieser Arbeit untersuchte leitfähige Garn kann den smarten Materialien zugeordnet werden, da es unter anderem als Sensor verwendet werden kann. Dementsprechend kann auch Bekleidung, in der leitfähiges Garn verwendet wird, der Kategorie smart zugeordnet werden.

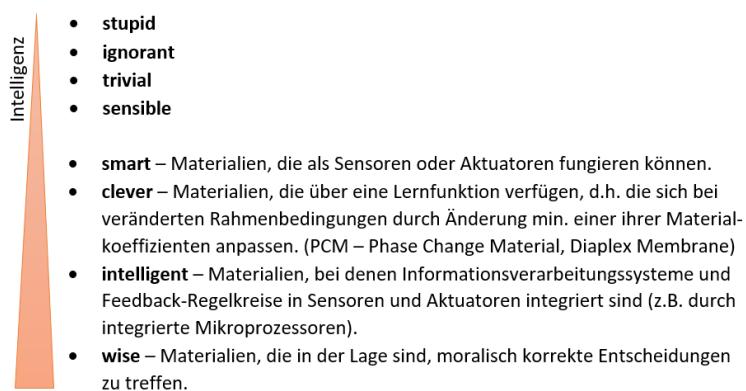


Abbildung 2.1: Intelligenzhierarchie nach Newnham [Carvajal Vargas, 2009]

2.2 Anwendungsgebiete

Leitfähiges Garn kann als Verbindung von Textilien und Elektronik dienen und kommt in vielen verschiedenen Gebieten zum Einsatz. Aktuell wird leitfähiges Garn vor allem in Textilkleidung verarbeitet. Es ermöglicht die Integration von Sensoren und Aktoren in normale Alltagskleidung. Hierdurch entfällt das Tragen zusätzlicher Geräte (z.B. Schrittzähler, Fitnesstracker). Neben Textilkleidung kennt die Literatur weitere Anwendungsgebiete. Im Folgenden wird eine Übersicht dieser Gebiete gegeben:

Medizin Im medizinischen Bereich wird leitfähiges Garn verwendet, um verschiedene Körpersensoren untereinander zu vernetzen. Um eine Beeinflussung der Messparameter zu vermeiden, sollen Messsensoren und Vernetzung vom Träger nicht als störend wahrgenommen werden. Auch dann wenn die Kleidung eng am Körper anliegt. [Linz u. a., 2006] entwickelte beispielsweise ein T-Shirt für die Messung von Herzaktivitäten.

Sport Sport Apps, die Laufrouten aufnehmen oder den Puls messen, finden immer größere Verbreitung. Mit leitfähigem Garn ist es möglich, diese Funktionen direkt

in die Sportbekleidung einzubringen und die beteiligten Sensoren zu verbinden. [Trubat González, 2014] erfasst mit ihrem Projekt E-Traces die Bewegungen eines Balletttänzers. Hierfür verwendet sie leitfähiges Garn in den Ballettschuhen. Das Ergebnis wird, wie Kalligraphie ähnliche Pinselstriche, auf dem Smartphone visualisiert.

Mode Kleidung mit integriertem Licht oder verschiedenen Materialien, wie zum Beispiel Lichtwellenleiter, sind in der Modebranche schon lange ein Hingucker. Das Londoner Label CuteCircuit [Cute Circuit, 2017] entwirft seit 2004 komplette Kollektionen mit speziellen Stoffen und LEDs. B. Stern von adafruit hat in ihrem Projekt Firewalker LED Sneaker [Stern, 2013a] Schuhe mit Hilfe von leitfähigem Garn, Drucksensoren und NeoPixel LEDs zum Leuchten gebracht.

Smart Home Zum einen kann leitfähiges Garn im Bereich Smart Home integriert werden, wozu man auch Gardeene aus [Heller u. a., 2016] zählen kann. Gardeene ist ein Vorhang, der durch die Berührung von leitfähigem Garn geöffnet und geschlossen werden kann. Es ist möglich das Garn in sämtliche Textilien von Möbeln einzuarbeiten und es kann durch seine Beschaffenheit fast unsichtbar angebracht werden.

Arbeitskleidung Leitfähiges Garn wird auch im Bereich der Arbeitskleidung verwendet. Es kann dabei wie konventionelles Garn verarbeitet werden. Die Firma MEWA stellt Produktschutzkleidung Electrostatic Discharge (ESD) her [MEWA, 2017]. MEWA verwendet in der Kleidung NAPTEX Garn, ein leitfähiges Garn, das empfindliche Teile bei Berührung vor elektrostatischer Entladung schützt. Dieses Garn hat durch seine spezielle Zusammensetzung eine hohe Luftdurchlässigkeit und ermöglicht einen guten Tragekomfort.

Schutz und Sicherheit Da das leitfähige Garn so gut wie unsichtbar in Gegenstände eingearbeitet werden kann, kann es auch für Schutz- und Sicherheitsanwendungen genutzt werden. SensFloor ist ein großflächiges Sensorsystem, das unter einem Fußboden verbaut wird [Future-Shape]. Es erkennt ob und wie viele Personen über den Boden laufen und kann zwischen einem Schritt und einem Sturz unterscheiden. SensFloor kann für verschiedene Szenarien eingesetzt werden, wie beispielsweise

als Sensor einer Alarmanlage oder einer Sturzerkennung in Alten- und Pflegeheimen.

Automobil Sensoren, beispielsweise für die Airbag-Kontrolle in Autos, lassen sich durch leitfähiges Garn in Textilien integrieren. Wie in [Kallmayer und Simon, 2012] beschrieben, gibt es verschiedene Techniken großflächige Sensoren in Textilien einzuarbeiten. Diese Sensoren sind sensitiv gegenüber Veränderungen des Widerstandes, der Kapazität, der Signalantwort oder der Laufzeit. Das Projekt InSiTex nutzt einen kapazitiven Drucksensor in einem Autositz, um dynamisch Veränderungen festzustellen. Dieser Sensor wird direkt in den Stoff vom Sitz eingearbeitet.

Prototyping Wie in [Perner-Wilson und Satomi, 2009] beschrieben, können mit Hilfe von leitfähigem Garn, Sensoren, wie beispielsweise ein Neigungssensor, selbst als Do-It-Yourself (DIY) Wearable hergestellt werden. Dadurch können Sensoren, anders als industriell hergestellte Sensoren, speziell angepasst werden und passend zu dem jeweiligen Projekt entwickelt werden.

2.3 Technische Grundlagen

2.3.1 Leitfähiges Garn

Leitfähiges Garn kann, wie in [Hartman, 2014] beschrieben, anhand verschiedener Eigenschaften unterschieden werden. Dazu kann man Material, Stärke, Leitfähigkeit und Farbe zählen.

Leitfähige Garne können in zwei Kategorien unterteilt werden. Garne, die aus rein leitfähigem Material bestehen und Garne, die aus einer Mischung von leitfähigen und nicht-leitfähigen Materialien bestehen. Zu den leitfähigen Materialien zählen rostfreier Stahl und Silber, zu den nicht-leitfähigen Materialien gehören Polyester und Nylon.

Eine weitere Unterscheidung der Garne ist die Stärke, die angibt, wie oft die einzelnen Fäden verzwirnt wurden. Dabei findet man Garne, die zwei- bis sechsfach verzwirnt sind. Davon abhängig haben die Garne eine unterschiedliche Stärke (siehe Abbildung 2.2 B). Dünne Garne haben eine niedrigere Anzahl an Verzwirnungen. Diese beeinflusst die Handhabung der Garne und entscheidet auch welche Nadel

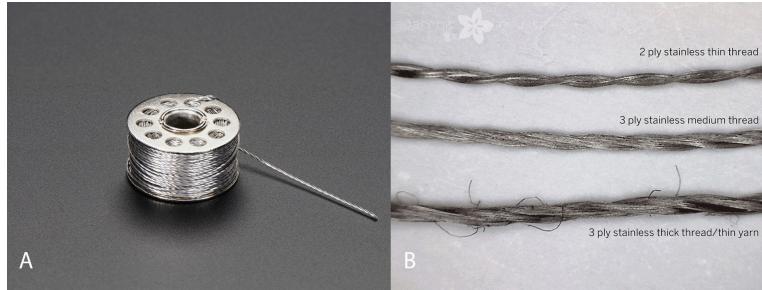


Abbildung 2.2: Leitfähiges Garn von adafruit und verschiedene Stärken [Adafruit, a]

zum Nähen benötigt wird oder ob die Verwendung einer Nähmaschine möglich ist. Ein stärkerer Grad der Verzwirnung bewirkt auch eine bessere Leitfähigkeit des Garns, da der Querschnitt erhöht wird.

Die Leitfähigkeit ist mit das wichtigste Kriterium für die Wahl des Garnes. Abhängig vom Material und der Verzwirnung beziehungsweise der Stärke haben die Garne eine unterschiedliche Leitfähigkeit. Je nachdem welche elektronischen Bauteile zusätzlich verwendet werden und wie die gestickten Leiterbahnen aussehen sollen, ist die Leitfähigkeit des Garns maßgebend.

Im Vergleich zu handelsüblichem nicht-leitfähigem Garn gibt es im Moment leitfähige Garne nur in der Farbe Silber/Grau.

2.3.2 FLORA

Adafruit's FLORA [Adafruit, b] ist ein Mikrocontroller, der speziell für Wearables entwickelt wurde. Die Besonderheit dabei ist, dass er nähbar ist. Die einzelnen Pins sind so gestaltet, dass der Mikrocontroller direkt mithilfe von Garn mit den Textilien verbunden und so gleichzeitig dort befestigt werden kann.

Zur Programmierung wird FLORA per Micro-B USB mit dem Computer verbunden. FLORA ist Arduino-kompatibel und kann über die Arduino IDE programmiert werden. Version 1 des Mikrocontrollers hat eine eingebaute Leuchtdiode (LED), Version 2 besitzt eine eingebaute NeoPixel RGB LED, die mit der Arduino NeoPixel Bibliothek programmiert werden kann.

Für die Stromversorgung können extern Batterien von 3,5V bis 16V angeschlossen werden. Dafür können Lithium-Ionen/Lithium-Polymer, Lithium-Eisenphosphat, Alkaline oder wiederaufladbare Nickel-Metallhybrid/Nickel-Cadmium Batterien verwendet werden.

2 Grundlagen

Adafruit stellt eine Reihe von verschiedenen Sensoren und Modulen zur Verfügung. Dazu gehören folgende Bauteile:

- Beschleunigungssensoren
- Farbsensor
- Lichtsensor
- UV-Sensor
- Bluetooth Low Energy (BLE) Modul
- Globales Positionsbestimmungssystem (GPS) Modul

In Abbildung 2.3 sind die verschiedenen Pins, die am FLORA-Mikrocontroller verwendet werden können und ihre Zusatzinformationen, wie zum Beispiel ob der Pin Pulsweitenmodulation (PWM) fähig ist, zu sehen.

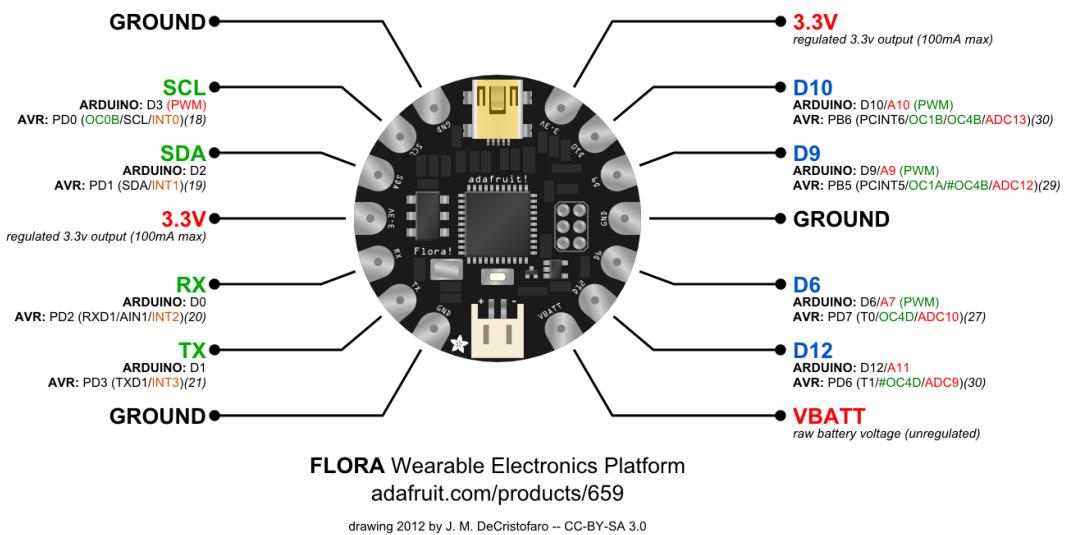


Abbildung 2.3: Pinout Diagramm FLORA [Stern, 2012]

2.4 Verwandte Arbeiten

In diesem Abschnitt werden Projekte und Arbeiten vorgestellt, die Smart Textiles, Wearables und elektronische Bauteile mit Hilfe von leitfähigem Garn herstellen.

2.4.1 Gardeene!

[Heller u. a., 2016] beschreiben die Einbindung von textilen Steuerelementen in unsere Umwelt, die weit mehr Möglichkeiten bieten, als diese nur in Kleidung einzubinden. Speziell wird ein durch einen kapazitiven Sensor und Motor gesteuerten Vorhang aufgezeigt.



Abbildung 2.4: Muster zur Erkennung von Gesten zur Steuerung des Vorhangs [Heller u. a., 2016]

Das Öffnen und Schließen des Vorhangs soll nicht mittels eines Tasters, sondern mit einer bekannten Geste, nämlich wischen von der Mitte nach rechts oder links oder von außen nach rechts oder links, durchgeführt werden. Um die Geste zu erkennen, werden gestickte Leiterbahnen mit leitfähigem Garn an dem Vorhang angebracht. Dafür wurde ein spezielles Muster entwickelt, um zwischen kleinen und großen Bewegungen zu unterscheiden. Die Stellen, an denen das Garn näher beieinander liegt, sind für kleine Gesten und die weiter entfernten Stellen sind für große Gesten gedacht (Abbildung 2.4). Das leitfähige Garn erkennt die kapazitive Berührung und leitet das Signal an einen Mikrocontroller weiter, der einen Motor zum Öffnen und Schließen steuert.

2.4.2 Grabrics

[Hamdan u. a., 2016] haben sich mit dem Problem auseinander gesetzt, dass Sensoren in Textilien oft unbeabsichtigt aktiviert werden. Um dies zu verhindern, wurde ein faltbarer Sensor, Grabrics (siehe Abbildung 2.5), entwickelt, der nach dem

Falten, zweidimensionale Streichel-Gesten erkennt. Durch das Falten soll er mit intuitiven Interaktionen gesteuert werden.

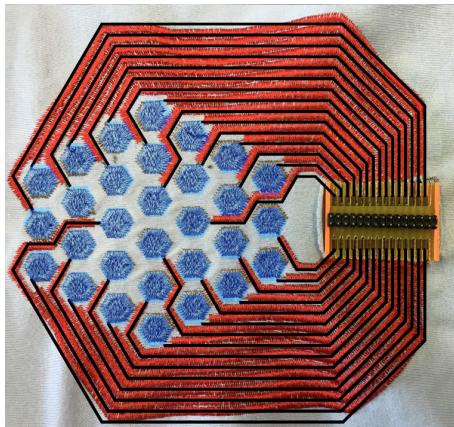


Abbildung 2.5: Grabrics Sensor [Hamdan u. a., 2016]

Grabrics besteht komplett aus leitfähigem Garn und ist deshalb so dünn, dass er nahtlos in Textilien eingearbeitet werden kann. Er besitzt 30 Felder aus leitfähigem Garn, die mit einem Mikrocontroller verbunden sind. Wird eine Falte in den Sensor gemacht, wird die Faltachse und der Berührungsplatz ermittelt. Bewegt man dann noch den Stoff zwischen den Fingern, können Steuerbefehle erkannt werden. Solch eine Änderung der Berührungsposition kann ab 4 mm erkannt werden.

Nur durch das bewusste Falten und das damit verbundene Streicheln wird eine Interaktion aktiviert und ausgeführt. So wird ein unbeabsichtigtes Aktivieren verhindert.

Grabrics kann in Möbel, Kleidung oder andere Alltagsgegenstände nahtlos eingearbeitet werden.

2.4.3 Projekte mit Interactex

Interactex ist eine visuelle Programmierungsplattform, wie in [Haladjian u. a., 2016] vorgestellt. Interactex besteht aus drei Komponenten: Interactex Designer Software für Tablet-Computer, um die Smart Textiles zu entwickeln; Interactex Client für Smartphones, um die Hardware Elemente zu steuern; Interactex Firmware auf dem Mikrocontroller. Die Kommunikation zwischen Smartphone und Mikrocontroller findet über BLE statt.

Das Research Design Lab der Berliner Universität der Künste hat eine Reihe von Smart Textiles mithilfe von Interactex entwickelt. Dazu gehört M2M Navigation Hat. Ein Hut für Blinde, der über acht Vibrationsmotoren die Wegrichtungen angibt.

Ein weiteres Projekt ist WaveCap. Dies ist eine Kapuze mit Schal, die ein Radio über textile Lautsprecher abspielt. Dabei sind die Elemente zur Lautstärkeregelung und Senderauswahl gestrickt und werden durch das Verknoten des Schals aktiviert.

Um älteren Menschen in Notfällen zu helfen, wurde Knit Alarm entwickelt. Eine gestrickte Jacke, die zwei Möglichkeiten beinhaltet einen Alarm auszulösen. Zum einen kann am linken Ärmel gezogen werden, zum anderen legt man den linken Ärmel auf die rechte Brust. Ein textiler Sensor erkennt Veränderungen am Widerstand durch den linken Ärmel und löst dann einen Alarm aus.

Um Menschen, die unter dem Karpaltunnelsyndrom leiden, ihre Belastung am Handgelenk zu veranschaulichen, wurde eine Armstulpe entwickelt, die bei zu starker und zu langer Belastung ein sichtbares und hörbares Signal auslöst.

Die in [Haladjian u. a., 2016] genannten Projekte verwenden leitfähiges Garn, um die elektronischen Bauteile miteinander zu verbinden und Elemente zu steuern.

2.4.4 DIY Wearable Technology

Mit leitfähigem Garn können nicht nur Bauteile miteinander verbunden werden, sondern auch selbst hergestellt werden. In [Perner-Wilson und Satomi, 2009] werden verschiedene DIY Wearable Technologien beschrieben. Bei der Herstellung werden sowohl leitfähige als nicht-leitfähige Materialien verwendet, sodass vor allem Kurzschlüsse verhindert werden.

Der erste Sensor ist ein Druck- und Biegungssensor. Er besteht aus zwei Neopren-Streifen, die mit leitfähigem Garn in einem Zick-Zack-Muster bestickt wurden. Die Streifen werden übereinander gelegt und dazwischen kommt ein Streifen Velostat, ein Material, welches piezoresistiv ist. In Abbildung 2.6 sieht man die Zusammensetzung der einzelnen Materialien. Beim Biegen des Sensors mit den Fingern, wird Druck auf das Velostat ausgeübt, wodurch eine Veränderung des Widerstands gemessen werden kann.

Ein anderer selbst herstellter Sensor ist ein Potentiometer aus resistivem und leitfähigem Stoff. In Abbildung 2.7 ist der Aufbau des Sensors aufgezeigt. In Version

2 Grundlagen

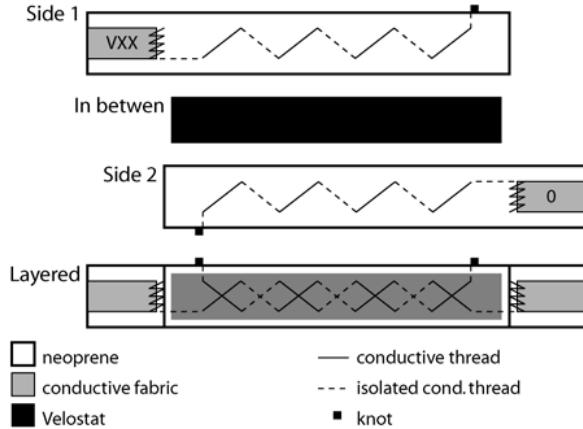


Abbildung 2.6: Aufbau Druck- und Biegungssensor [Perner-Wilson und Satomi, 2009]

1 des Potentiometers wurde eine leitfähige Fingerkappe zum Verändern des Widerstands verwendet und in Version 2 wurde diese durch einen Kupferdraht ersetzt, der in der Mitte befestigt wird und rotiert werden kann.

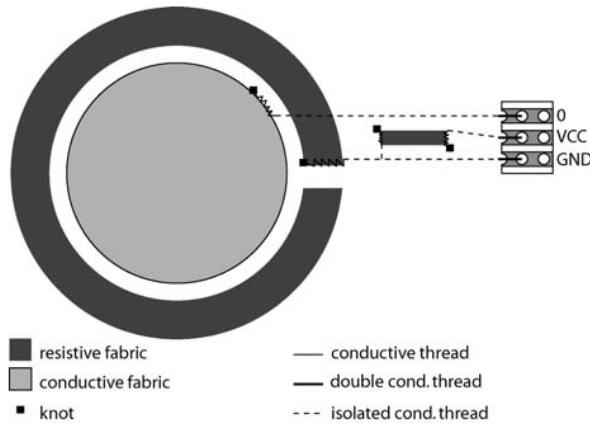


Abbildung 2.7: Aufbau Potentiometer [Perner-Wilson und Satomi, 2009]

Ein Neigungssensor, wie in Abbildung 2.8 dargestellt, kann ebenfalls selbst hergestellt werden. Es wird eine kleine Metallperle verwendet, die durch das Bewegen des Sensors ihre Richtung ändert. Sechs Kontaktschalter aus leitfähigem Stoff werden kreisförmig angeordnet und sind durch leitfähiges Garn mit einer Platine verbunden. Die Metallperle ist in der Mitte angebracht. Durch Neigungen rotiert die Perle und berührt einen der Kontaktschalter, der die Berührung an die Platine weiter gibt.

Der letzte Sensor, der in [Perner-Wilson und Satomi, 2009] beschrieben wird, ist ein Streichelsensor, der sich noch in der Frühphase der Entwicklung befindet. Neopren wird wieder als Basis-Stoff benutzt. Es werden einzelne Fäden aus dickem leitfähigem Garn benutzt, um die Berührungen zu registrieren.

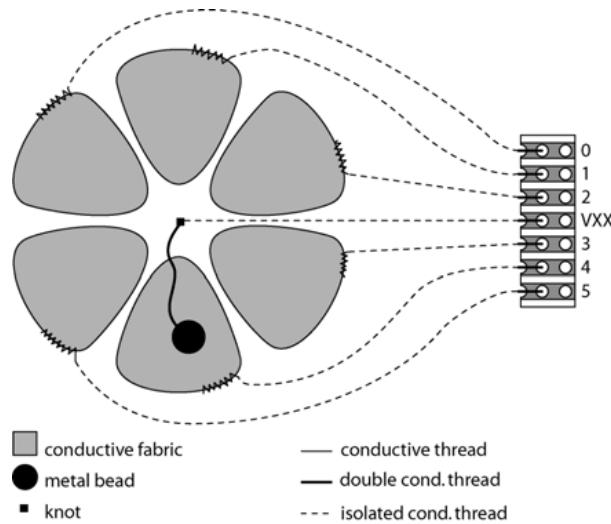


Abbildung 2.8: Aufbau Neigungssensor [Perner-Wilson und Satomi, 2009]

gen Garn daran befestigt, die auf der Rückseite miteinander verknüpft sind. Es gibt drei verschiedene Varianten, die in Abbildung 2.9 zusehen sind. In Variante a wird direkt neben den Fäden ein Streifen leitfähiger Stoff zur Verbindung angebracht. In Variante b kommt noch ein weiterer Streifen mit leitfähigem Garn dazu. Variante c zeigt eine Mischung aus leitfähigem und nicht-leitfähigem Garn. Als Alternative zum nicht-leitfähigen Garn könnte in Variante c resistives Garn verwendet werden, um zusätzlich den Druck beim Streicheln zu erkennen. Von Variante a bis zu Variante c muss der Nutzer mit größeren Gesten streicheln, da die Abstände zwischen den Kontakten größer werden.

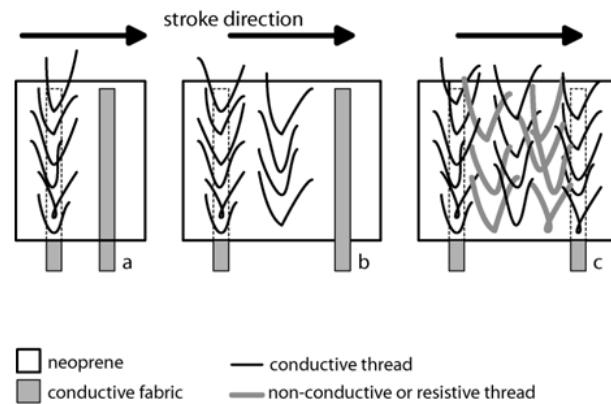


Abbildung 2.9: Aufbau Streichelsensor [Perner-Wilson und Satomi, 2009]

Kapitel 3

Herleitung der Best Practices

In diesem Kapitel werden Best Practices anhand des Nachbaus des Plush Game Controllers von B. Stern analysiert. Ebenso werden die notwendigen Materialien und Verarbeitungsweisen beschrieben.

3.1 Analyse Plush Game Controller

Der Plush Game Controller [Stern, 2013b] gleicht optisch einem Controller für die Nintendo Entertainment System (NES) Spielekonsole. Er besteht aus:

- grauem und schwarzem Stoff
- leitfähigem Stoff
- leitfähigem Garn
- FLORA-Mikrocontroller
- Micro-USB Kabel

Der Plush Game Controller besitzt die klassischen Tasten eines Spielescontrollers: Ein Steuerkreuz, eine Starttaste, eine Auswahltaste und zwei Aktionstasten. Die Tasten des Controllers werden aus einem leitfähigen Stoff hergestellt und auf normalem grauen Stoff durch Textilklebstoff befestigt. Diese Touchflächen werden durch das leitfähige Garn an den Adafruit FLORA-Mikrocontroller genäht. Mit der Capacitive Sensor Bibliothek [Badger, 2012] für Arduino werden Pins in kapazitive Sensoren verwandelt, so dass die Tasten durch Berührung ausgelöst werden.



Abbildung 3.1: Plush Game Controller von B. Stern [Stern, 2013b]

Der im Plush Game Controller verwendete FLORA-Mikrocontroller kann via Micro-USB an einen Computer angeschlossen werden und wird automatisch als Tastatur erkannt. Somit kann er zum Steuern von Computerspielen verwendet werden. Es gibt eine Tastatur-Bibliothek für Arduino, die die einzelnen Touchflächen in Tastatureingaben übersetzt. Beim Spielen kann man als Steuerkreuz entweder die Pfeiltasten oder die Tasten W, A, S und D verwenden.

3.2 Fragestellung

Folgende Leitfragen wurden für die Realisierung des Plush Game Controllers und die Ausarbeitung der Best Practices betrachtet:

- Wie lässt sich das Garn verarbeiten in Bezug auf nähen und fixieren?
- Wie groß ist die Leitfähigkeit des Garns?
- Kann man die Originalgröße des Plush Game Controllers verringern?
- Muss das Garn isoliert werden, beziehungsweise ab welchem Abstand muss es isoliert werden?
- Werden Toucheingaben richtig erkannt?
- Wie groß ist der Mindestabstand einzelner Leiterbahnen aus leitfähigem Garn, der noch einen fehlerfreien Betrieb erlaubt?
- Beeinflusst das verwendete Stoffmaterial die Leitfähigkeit des Garns?
- Wie unterscheidet sich das leitfähige Garn von nicht-leitfähigem Garn bezüglich der Verarbeitung?

- Wie kann man das leitfähige Garn mit elektronischen Bauteilen verbinden?
Kann man auch Komponenten von anderen Herstellern als nur die Adafruit Wearable Bauteile verwenden?

3.3 Best Practice-Analyse

In diesem Abschnitt werden die für die Best Practice-Analyse verwendeten Basismaterialien vorgestellt und die Grundlagen der Analyse beschrieben

Verwendete Materialien für den Nachbau des Plush Game Controllers

- Grauer Stoff: Leinen
- Leitfähiges Garn
 - Stainless Thin Conductive Thread - 2 ply (Verzwirnung), Adafruit
 - Stainless Medium Conductive Thread - 3 ply (Verzwirnung), Adafruit
 - Conductive Thread Bobbin - Stainless Steel, Sparkfun
 - Smooth Thread Bobbin - Stainless Steel, Sparkfun
- Leitfähiger Stoff
 - Conductive Fabric 12x13 Ripstop (reißfest)
- Adafruit FLORA-Mikrocontroller
- Micro-USB Kabel
- Druckknöpfe
 - Gondola, 5mm, verzinnt
- Bügelsaum
- Stickrahmen
- Verschiedene Nähnadeln

Damit die verschiedenen Garne getestet werden können, wurde der Plush Game Controller mit jedem Garn einmal nachgebaut. Da nur ein FLORA-Mikrocontroller verwendet wurde und er nicht immer entfernt und erneut angenäht werden muss, wurden mit Zinn beschichtete Druckknöpfe an den Mikrocontroller gelötet und die passenden Gegenstücke an jeden Plush Game Controller angebracht (siehe Abbil-

dung 3.2. Bei den Druckknöpfen ist zu beachten, dass sie aus einem leitfähigen Material bestehen. Dadurch bleibt der FLORA-Mikrocontroller austauschbar und kann zum Testen schnell mit jedem Plush Game Controller durch einfaches zusammenstecken der Druckknöpfe verbunden werden.

Zum Messen der Leitfähigkeit wurde ein Multimeter verwendet. Bei manchen Tests wurde zusätzlich ein Labornetzteil als Spannungs- und Stromversorgung genutzt.

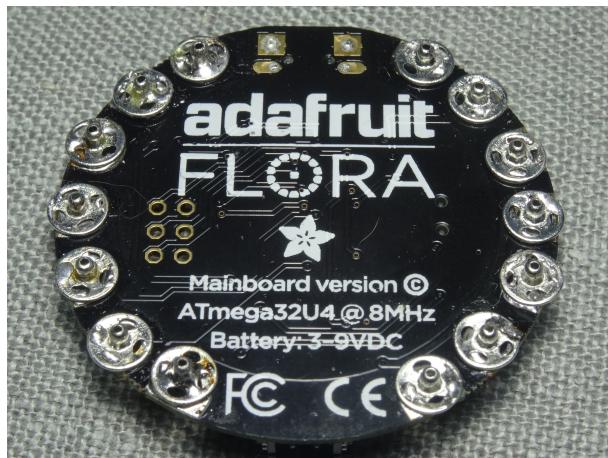


Abbildung 3.2: Druckknöpfe wurden an den FLORA gelötet, um ihn austauschbar zu machen

3.4 Durchführung der Analyse und Best Practices

3.4.1 Nachbauen des Plush Game Controllers

Der Plush Game Controller wurde Schritt für Schritt nach Stern's Anleitung [Stern, 2013b] nachgebaut. Diese Schritte bestanden darin, zunächst mithilfe der Schnittmuster, den Körper aus konventionellem Stoff zurecht zu schneiden. Danach wurden die Touchflächen aus dem leitfähigen Stoff ausgeschnitten und mit Saumband zum Aufbügeln am Körper aufgebügelt. Da der FLORA-Mikrocontroller durch Druckknöpfe an dem Stoff befestigt werden soll, wurde zuerst die äußere Form des Mikrocontrollers an der richtigen Position mit einem Filzstift übertragen. Da die Druckknöpfe leicht nach außen abstehen, erkennt man die Stellen der Pins gut und kann sich die benötigten Punkte markieren, um die Gegenstücke der Druckknöpfe dort anzubringen.

Die Leiterbahnen von den Touchflächen zum Mikrocontroller wurden mit Schneiderkreide vorgezeichnet, sodass keine ungewollten Überkreuzungen entstehen und

das Garn eindeutige Wege hat. Die Leiterbahnen aus den verschiedenen leitfähigen Garnen wurden von Hand genäht. Zur Unterstützung beim Nähen wurde ein Stickrahmen genutzt, damit der Stoff gut gespannt ist und das Nähen dadurch erleichtert wird.

Vom Plush Game Controller wurde nur die Vorderseite nachgebaut, da diese für die Analyse und Best Practices ausreichend ist. Die anderen Seitenteile aus Stoff, die Front aus schwarzem Stoff, sowie das Füllmaterial sind nur zum Vervollständigen des Game Controllers da und haben für das leitfähige Garn keine wichtigen Funktionen.

3.4.2 Best Practices

Beim Nachbauen des Plush Game Controllers und der Verwendung von leitfähigem Garn wurden die in diesem Abschnitt beschriebenen Punkte herausgearbeitet. Die Punkte beziehen sich auf die Verarbeitungsmöglichkeiten und die Eigenschaften des leitfähigen Garns. Für jeden genannten Punkt wird die verwendete Untersuchungsmethode beschrieben, das Ziel der Untersuchung definiert und das Ergebnis erläutert.

Beschaffenheit des Garns

Anhand der Beschaffenheit des leitfähigen Garns, lassen sich manche der Eigenschaften direkt ableiten. Die Näheigenschaften bestimmen beispielsweise maßgeblich den möglichen Einsatz in Textilien. Die untersuchten Garne weisen ein unterschiedliches Verhalten beim Nähen auf.

Vor dem Nachbau des Plush Game Controllers wurde die Struktur der leitfähigen Garne genauer betrachtet. Beim Abschneiden der Garne, kommt es oft dazu, dass sie sich an den Enden in ihre einzelnen Fäden zerteilen. Deshalb wurde jeweils ein Stück Garn aufgetrennt und die Unterschiede analysiert.

Die Gemeinsamkeit aller getesteten Garne besteht darin, dass sie zu 100% aus vielen Stahlfäden bestehen und eine silbern glänzende Oberfläche haben. Die Garne Stainless Thin Conductive Thread (Adafruit), Stainless Medium Conductive Thread (Adafruit) und Smooth Thread, Stainless Steel (Sparkfun) sind sich im Bezug auf die Beschaffenheit sehr ähnlich. In den Händen fühlen sie sich drahtig an und sind

im Vergleich zu konventionellem Garn starrer und etwas dicker. Die einzelnen Fäden der leitfähigen Garne sind gleichmäßig angeordnet und wurden glatt miteinander verzwirnt, sodass mit dem bloßen Auge keine abstehenden Fäden erkennbar sind.

Die zwei leitfähigen Garne von Adafruit unterscheiden sich, wie der Name schon sagt, in der Stärke des Garns. Das Medium Conductive Thread ist dicker als das Thin Conductive Thread aufgrund der unterschiedlichen Anzahl an Verzwirnungen.

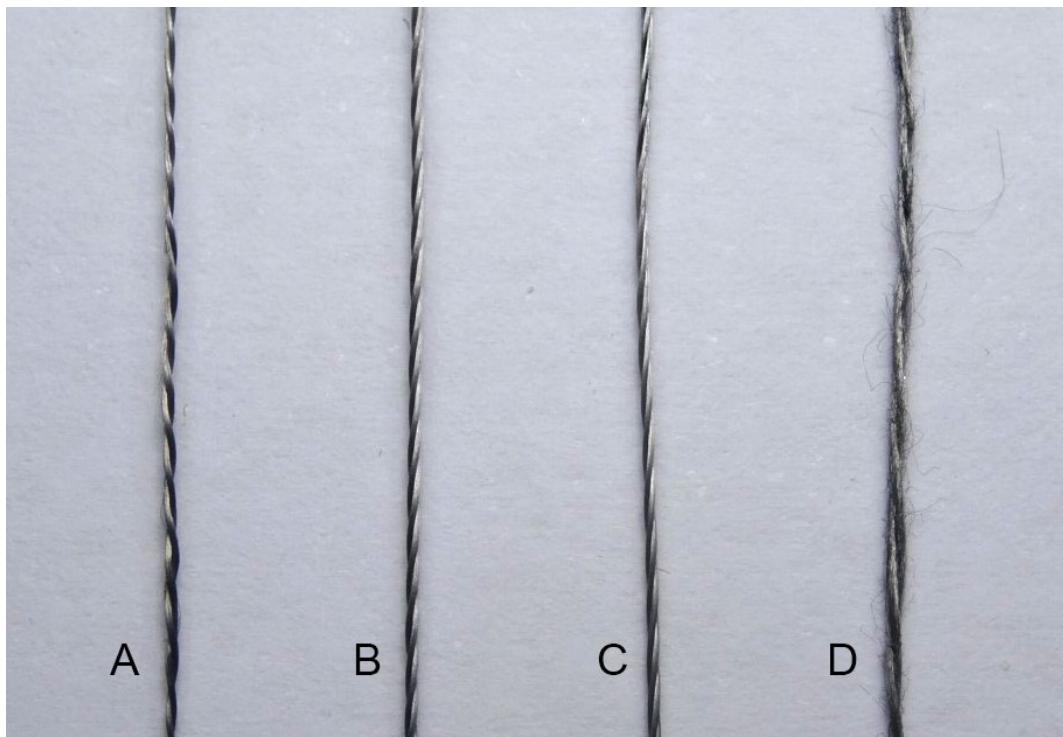


Abbildung 3.3: Verzwirnung der Garne. A: Thin Conductive Thread Adafruit, B: Medium Conductive Thread Adafruit, C: Conductive Thread Sparkfun, D: Smooth Thread, Sparkfun

Anders ist das Garn Conductive Thread - Stainless Steel von Sparkfun. Wie in Abbildung 3.3 zu sehen ist, unterscheidet es sich am meisten von den anderen drei leitfähigen Garnen. Dieses Garn hat viele feine abstehende Fäden und es ist nicht so glatt wie die anderen. Optisch gleicht es am meisten Baumwollgarn und ist auch viel weicher als die anderen leitfähigen Garne.

Leitfähigkeit des Garns

Die wichtigste Eigenschaft des Garns ist seine Leitfähigkeit. Vergleicht man leitfähiges Garn mit herkömmlichen Litzen- oder Aderleitungen ist die größte Ein-

schränkung bei der Verwendung dessen Leitfähigkeit. Damit hat man nur begrenzte Möglichkeiten das Garn für Wearables zu nutzen und ist abhängig vom verhältnismäßig hohen Widerstand. Die Leitfähigkeit wird durch die Zusammensetzung des Garns bestimmt. Die getesteten Garne bestehen alle aus rostfreiem Stahl. Die Herstellerangaben zum Widerstand sind in Tabelle 3.1 zu finden.

Tabelle 3.1: Herstellerangaben zum Widerstand von leitfähigem Garn und Schaltlitze zum Vergleich

Leitfähige Garne	Marke	Widerstand
Stainless Thin Conductive Thread - 2 ply	Adafruit	51 Ω/ m
Stainless Medium Conductive Thread - 3 ply	Adafruit	51 Ω/ m
Smooth Thread Bobbin - Stainless Steel	Sparkfun	27 Ω/ m
Conductive Thread Bobbin - Stainless Steel	Sparkfun	91 Ω/ m
Schaltlitze 0,14 mm ²		<1 Ω/ m

Für die Tests bezüglich der Leitfähigkeit wurden die leitfähigen Garne in 10 cm Streifen geschnitten und der Widerstand wurde unter unterschiedlichen Bedingungen gemessen. Zuerst bei Raumtemperatur, dann bei Kälte und zuletzt bei Wärme. Für die Messung bei Kälte wurde das Garn mit Hilfe eines Kühlakkus auf -10 °C herunter gekühlt und für die Messung bei Wärme wurde es mit einem Bügeleisen erwärmt. Da das leitfähige Garn in Kleidung und Textilien eingearbeitet wird, sollte es den unterschiedlichen Bedingungen, beispielsweise des Wetters und der Körpertemperatur, standhalten und seine Leitfähigkeit auf Dauer nicht verändern.

Tabelle 3.2: Testergebnisse der Widerstandsmessung unter verschiedenen Bedingungen

Leitfähige Garne	Marke	Normal	Kälte	Wärme
Stainless Thin Conductive Thread - 2 ply	Adafruit	4 Ω	3 Ω	5 Ω
Stainless Medium Conductive Thread - 3 ply	Adafruit	2 Ω	2 Ω	4 Ω
Smooth Thread Bobbin - Stainless Steel	Sparkfun	3 Ω	2 Ω	3 Ω
Conductive Thread Bobbin - Stainless Steel	Sparkfun	10 Ω	8 Ω	9 Ω

Die Ergebnisse des gemessenen Widerstands nach den Tests befinden sich in Tabelle 3.2. Bei den Untersuchungen wiesen alle getesteten Garne ähnliche Ergebnisse auf. Unter Kältezufuhr leitet das Garn besser, bei Wärme leitet es schlechter. Dies lässt sich auf folgende Erklärung des Temperaturverhaltens des Widerstands zurückführen:

„Der elektrische Widerstand eines Werkstoffes ist von der Temperatur abhängig. [...] Erwärmt sich der Widerstand, so nimmt die brownsche Molekularbewegung zu und behindert den gerichteten Stromfluss. Der Widerstandswert wird mit steigen-

der Temperatur größer. [...] Metalle sind im kalten Zustand bessere Stromleiter.“ ([Mietke, 2017], Der lineare Widerstand - Das Temperaturverhalten)

Durch die Erhöhung des Querschnitts kann eine gesteigerte Leitfähigkeit des Garns erreicht werden, was im nächsten Abschnitt 3.4.2: Garn nähen genauer beschrieben wird.

Garn nähen

Egal ob man das leitfähige Garn als Leiterbahn oder als Sensor verwendet, immer stellt das Nähen die wichtigste Verarbeitungsart dar. Mit Hilfe von Garn können nicht nur Stoffe miteinander verbunden werden, sondern durch das Nähen mit leitfähigem Garn kann nun auch Elektronik in Textilien eingearbeitet werden. Da sich die Eigenschaften des leitfähigen Garns und des konventionellen Garns unterscheiden, ist vor allem der Vergleich wie man damit nähen kann wichtig.

Für die Tests wurden vier verschiedene Garne (siehe Abschnitt 3.3: Verwendete Materialien für den Nachbau des Plush Game Controllers) verwendet. Zum Nähen des Garns wurden handelsübliche Nähnadeln und eine Nähmaschine verwendet. Zunächst wurde der Stoff zum Nähen von Hand in einen Stickrahmen gespannt und die Leiterbahnen wurden mit Schneiderkreide vorgezeichnet. Für alle vier Plush Game Controller lief dieser Vorgang gleich ab und der Reihstich wurde als Stichart gewählt. Dies ist der einfachste Stich, dabei ist das Garn abwechselnd auf der Vorder- und auf der Rückseite des Stoffes zu sehen. Die Längen der Stiche wurden mit verschiedenen Abständen getestet. Für jeden Game Controller wurden acht Leiterbahnen genäht, die zwischen 5cm und 20cm lang sind.

Das Conductive Thread - Stainless Steel von Sparkfun hebt sich von den anderen leitfähigen Garnen ab, die getestet wurden. Es verhält sich beim Nähen von Hand wie normales Garn und passt sich gut an den Stoff an. Das Conductive Thread - Stainless Steel von Sparkfun ist nicht so drahtig wie die anderen Garne und ähnelt einem groben Baumwollgarn.

Die Garne Stainless Thin Conductive Thread und Stainless Medium Conductive Thread von Adafruit und Smooth Conuctive Thread - Stainless Steel von Sparkfun sind von der Struktur her vergleichbar. Wie im Abschnitt 3.4.2: Beschaffenheit des Garns beschrieben, sind diese Garne straff verzwirnt, weshalb sie sehr glatt sind und oft aus dem Nadelöhr rutschen. Daher empfiehlt es sich einen Einfädler zur Hilfe zu

nehmen, um das Garn schnell und einfach wieder einfädeln zu können. Außerdem trennt sich das leitfähige Garn beim Abschneiden oft in seine vielen einzelnen Fäden auf, was das Einfädeln auch noch erschwert. Man kann versuchen, die Enden mit den Fingern zusammen zu drücken und etwas zu befeuchten oder einen Knick in das Garn zu machen und dann erneut einfädeln, was auf Dauer dennoch mühsam wird.

Es ist auch möglich das leitfähige Garn zum Nähen mit einer Nähmaschine zu verwenden. Für größere Strecken ist es von Vorteil eine Nähmaschine zu nutzen, da zum einen schneller genäht werden kann und zum anderen ist es einfacher das Garn gleichmäßig zu nähen. Das leitfähige Garn kann entweder nur als Oberfaden, nur als Unterfaden oder als beides gleichzeitig genutzt werden. Sollte das leitfähige Garn nicht sichtbar sein und unter der Kleidung versteckt werden, nutzt man das Garn als Unterfaden und kann für den Oberfaden ein normales Garn wählen. So können auch Zierstiche verwendet werden und die Leiterbahn ist unter dem Stoff angebracht. Beim leitfähigen Garn als Oberfaden kann der Geradstich verwendet werden. Nutzt man einen Zierstich für das leitfähige Garn muss der Widerstand beachtet werden. Bei einer gleichlangen Strecke wird für den Zackstich mehr Garn benötigt als für den Geradstich. Je länger das Garn ist, desto höher wird auch der Widerstand des leitfähigen Garns.

Wird das leitfähige Garn als Ober- und Unterfaden gleichzeitig verwendet, kann eine höhere Leitfähigkeit des Garns erzielt werden. Mit dem Garn Conductive Thread - Stainless Steel von Sparkfun lässt sich auf einer Strecke von 10 cm ein Widerstand von 5Ω messen. Bei einer gleichlangen Strecke von Hand genäht wurden 10Ω gemessen.

Die größte Schwierigkeit beim Nähen mit der Nähmaschine ist, die richtige Fadenspannung zu finden. Beim Conductive Thread - Stainless Steel von Sparkfun als Oberfaden muss eine sehr hohe Fadenspannung eingestellt werden. Im Vergleich dazu braucht das Stainless Thin Conductive Thread von Adafruit nur eine geringe Fadenspannung. Sollte während dem Nähen die Stichart gewechselt werden, muss die Spannung des Oberfadens erneut überprüft werden.

Für die leitfähigen Garne sind komplexe Stiche, die viel Garn benötigen eher ungeeignet, da die Länge des Garns durch die Eigenschaft der Leitfähigkeit eingeschränkt ist. Lange Strecken mit leitfähigem Garn oder Zierstiche mit leitfähigem Garn sollten deshalb vermieden werden.

Garn fixieren

Beim Nachbauen des Plush Game Controllers war es schwierig, das Garn an dem Stoff oder den Bauteilen zu befestigen. Zum Befestigen gehört das Verknoten des Garns und das Fixieren der Knoten, sodass sie sich nicht mehr auflösen. Ohne das Garn richtig zu fixieren, ist das Nähen überflüssig, da sich die Naht durch Bewegungen wieder von alleine auflöst. Deshalb ist das richtige Fixieren essentiell für ein gut funktionierendes und lang haltendes Produkt. Des Weiteren ist es wichtig, das Garn zu fixieren, da loses Garn zu Problemen führen kann. Durch ungewolltes Berühren der Garne untereinander, kann es zu falschen Eingabesignalen bei kapazitiven Sensoren kommen oder zu Kurzschlüssen.

Es gibt viele verschiedene Möglichkeiten das leitfähige Garn zu befestigen. Zum Fixieren kann alles genutzt werden, das das Garn dazu bringt, in seiner Form zu verharren. Es ist auch abhängig vom Produkt welche Variante verwendet werden kann. Getestet wurden klarer Lack (zum Beispiel Nagellack), Heißkleber, Flüssigkleber, löten und verknoten. Die Tests wurden wieder mit den vier Garnen aus Abschnitt 3.3: Verwendete Materialien für den Nachbau des Plush Game Controllers durchgeführt.

Das Garn Conductive Thread von Sparkfun, lässt sich verknoten, da es eine wolleähnliche Struktur hat. Bei den anderen Garnen strebt das Garn wieder seine Ursprungsform an und durch seine glatte Oberfläche lösen sich die Knoten schnell wieder auf. Deshalb sollte zusätzlich zum Knoten eine weitere Fixierung hinzugefügt werden.

Die einfachste und effektivste Variante ist klaren Nagellack zu nutzen. Man kann durch den Pinsel punktgenau die Stelle des Knotens fixieren und er trocknet schnell, sodass man gleich nach dem Fixieren weiterarbeiten kann. Ebenfalls erfolgreich funktioniert Heißkleber. Er trocknet schnell und fixiert das Garn sehr gut. Eine Schwierigkeit ist, die richtige Dosierung zu finden, da mit einer Heißklebepistole oft große Tropfen entstehen. Eine andere Variante, die getestet wurde, ist flüssigen Klebstoff zu verwenden. Dies ist aber nicht zu empfehlen, da er im Vergleich zum klaren Nagellack viel länger braucht bis er getrocknet ist und oft auch noch nach dem Trocknen gummiartig bleibt. Die Knoten lösen sich trotz des Flüssigklebers noch leicht auf.

Der Versuch das leitfähige Garn durch Weichlöten miteinander zu verbinden und zu fixieren blieb ohne Erfolg. Dabei wurden verschiedene Lötzinne aus 60% Zinn,

39% Blei und 1% Kupfer, sowie aus 99% Zinn und 0,7% Kupfer bei 300 °C beziehungsweise 400 °C verwendet. Da das leitfähige Garn aus 100% Stahl besteht, macht die Hitze des Lötkolbens dem Garn nichts aus, allerdings bleibt der Lötzinn deshalb auch nicht daran haften. Bei leitfähigen Garnen, die auch einen Anteil aus Nylon oder Polyester haben, sollte man das Löten nicht ausprobieren, da diese leicht entflammbar sind.

Bei allen flüssigen Produkten muss darauf geachtet werden, dass man nicht mit den Textilien in Kontakt kommt, da dabei Flecken entstehen können. Außerdem ist nach dem Fixieren zu beachten, dass man die Enden kürzt, sodass keine Fehlkontakte aufgrund eines Berührens der überstehenden Enden entstehen.

Reißfestigkeit

Reißt normales Garn in Kleidungsstücken, entsteht ein Loch oder der Stoff kann weiter einreißen. Reißt leitfähiges Garn, kann es nicht mehr als Leiterbahn fungieren und die angenähten elektronischen Bauteile funktionieren über diese Verbindung nicht mehr. Dadurch, dass das Garn in Kleidung eingearbeitet werden kann und Sport beispielsweise ein Anwendungsbereich davon ist, ist es viel Bewegung und Reibung ausgesetzt. Es muss diesem Gebrauch von Textilien standhalten und entsprechend reißfest sein.

Die erste Variante, die Reißfestigkeit des leitfähigen Garns zu testen, ist die, zu versuchen das Garn mit den Händen zu zerreißen. Darüber hinaus wurde beim Nähen des Garns, versucht Knoten, die durch das Verdrehen des leitfähigen Garns entstanden sind, zu lösen.

Die Ergebnisse der Tests sind ebenfalls auf die Beschaffenheit des leitfähigen Garns zurück zuführen. Das Garn Conductive Thread - Stainless Steel von Sparkfun ist problemlos mit den Händen zu zerreißen. Es ist auch das leitfähige Garn, das dem konventionellen Garn optisch am meisten ähnelt. Soll ein Knoten von diesem Garn gelöst werden, muss darauf geachtet werden, dass es schnell abreißen kann und sollte deshalb nur vorsichtig gelockert werden, bis der Knoten wieder aufgelöst werden kann.

Die anderen leitfähigen Garne sind nicht ohne weiteres mit den Händen zu zerreißen. Durch ihre ähnliche Eigenschaft zu Draht sind sie sehr stabil und man hat schon mit normalen Scheren etwas Schwierigkeit das Garns sauber zu zerteilen. Da

sich das Garn beim Nähen mit einem langen Faden leicht verdreht, muss darauf geachtet werden, dass man daraus resultierende Knoten vorsichtig löst, da das Garn an diesen Stellen ebenfalls abreißen kann.

Garn isolieren

Da feine einzelne Fäden vom Garn abstehen können, muss darauf geachtet werden, dass sich die leitfähigen Garne nicht untereinander berühren. Sollten sie sich doch berühren, kann es zu Kurzschlüssen kommen oder verfälschte Eingaben können entstehen.

Für das Isolieren des leitfähigen Garns wurden verschiedene Methoden getestet. Dazu gehören Wachs, Heißkleber und Stoff zwischen den Garnen. Zum Testen wurden Leiterbahnen mit Touchflächen wie beim Plush Game Controller mit dem FLORA verbunden und dabei so eng wie möglich nebeneinander auf Stoff genäht, dass es zu falschen Eingaben kommt. Anschließend wurden die verschiedenen Möglichkeiten zum Isolieren verwendet und die Eingaben erneut überprüft.

Der erste Versuch mit Wachs hat nicht funktioniert. Es traten erneut dieselben falschen Eingaben auf. Das Wachs kann lediglich dazu verwendet werden beim Conductive Thread - Stainless Steel von Sparkfun die feinen abstehenden Fäden etwas zu glätten. Ebenso wenig kann man das leitfähige Garn mit Heißkleber isolieren. Zum einen ist es schwierig den Heißkleber so anzubringen, dass er das Garn komplett umschließt und zum anderen wird das Garn sehr starr und kann nicht mehr zum Nähen verwendet werden.

Stoff zwischen den Garnen reicht aus, um sie voneinander zu isolieren, was beispielsweise durch einen entgegengesetzten Reihstich erreicht werden kann. Es ist wichtig, dass sich die Garne an keiner Stelle berühren. Deshalb ist es empfehlenswert, einen Abstand von 2-3 mm zwischen den Garnen zu lassen und vor Gebrauch nochmals alle Leiterbahnen auf Kontakt untereinander zu überprüfen. Je mehr feine Fäden vom Garn abstehen, desto mehr Abstand muss zwischen dem Garn gelassen werden.

Garn waschen

Da das leitfähige Garn in Textilien eingearbeitet wird und oft am Körper getragen wird, kommt es vor, dass die Textilien schmutzig werden und gewaschen werden müssen. Für die meisten Textilien ist es ein normaler Vorgang, dass sie gewaschen werden. Wie für die meisten konventionellen Textilien sollte das Waschen auch bei Smart Clothes möglich sein.

Zum Testen wurde für alle vier Garne jeweils eine Leiterbahn in ein Stück Stoff genäht und von Hand mit Waschmittel gewaschen und anschließend ausgewrungen. Es wurde untersucht, ob sich die Leitfähigkeit des Garns nach dem Waschen verändert hat und wie sich der Widerstand während des nassen Zustands des Stoffes verändert hat.

Tabelle 3.3: Messergebnisse vor dem Waschen, im nassen Zustand und nach dem Trocknen

Leitfähige Garne	Marke	Vorher	Nass	Nachher
Stainless Thin Conductive Thread - 2 ply	Adafruit	4 Ω	3 Ω	4 Ω
Stainless Medium Conductive Thread - 3 ply	Adafruit	3 Ω	2 Ω	3 Ω
Smooth Thread Bobbin - Stainless Steel	Sparkfun	3 Ω	2 Ω	2 Ω
Conductive Thread Bobbin - Stainless Steel	Sparkfun	7 Ω	6 Ω	7 Ω

Die Tabelle 3.3 zeigt die Ergebnisse der Widerstandsmessung vor dem Waschen, im nassen Zustand und nach dem Trocknen. Es ist zu sehen, dass es vorher und danach keine großen Änderungen des Widerstands gab. Der Waschvorgang hat die Leitfähigkeit des Garns nicht beeinflusst.

Im nassen Zustand ist der Widerstand nur geringfügig verringert. Hierbei muss allerdings auch beachtet werden, dass durch das Befeuchten der Widerstand des Stoffes ebenfalls verringert wird. Wenn zwei Leiterbahnen parallel in einem Abstand von 25mm genäht sind, lässt sich ein Widerstandswert von 125 k Ω messen. Verwendet man einen kapazitiven Sensor, sollte dieser Wert berücksichtigt werden, damit keine fehlerhaften Eingaben auftreten.

Alle elektronischen Bauteile, die nicht wasserdicht sind, müssen unbedingt vor dem Waschen von den Textilien entfernt werden. Deshalb ist es empfehlenswert, die Adafruit Komponenten austauschbar und ablösbar anzubringen, beispielsweise über Druckknöpfe, wie in Abschnitt 3.3: Aufbau der Analyse beschrieben.

Leitfähiges Garn und elektronische Bauteile

Von Adafruit gibt es eine ganze Serie von FLORA kompatiblen Produkten, die speziell für das Nähen von leitfähigem Garn entwickelt wurde. Dabei ist es möglich, alle Pins mit den angehängten Komponenten durch leitfähiges Garn, ohne zu löten, zu verbinden. Die Pins für das leitfähige Garn sind kleine Löcher, die eine Fläche aus Kupfer um die Löcher haben und an die das Garn geknotet wird.

Normale Komponenten brauchen eine spezielle Vorarbeit, um sie mit leitfähigem Garn verbinden zu können. Sie unterscheiden sich in zwei Dingen von den Adafruit Wearables. Zum einen muss eine Möglichkeit gefunden werden, das leitfähige Garn stabil daran zu befestigen, zum anderen muss man darauf achten, wie die Bauteile auf der Kleidung anliegen. Der Vergleich wurde mit zwei LEDs, einer normalen 5 mm LED und einer Adafruit LED Sequin, durchgeführt.

Zunächst muss bei einer normalen LED eine mögliche Befestigung des leitfähigen Garns überlegt werden, da das Garn nicht an die LED gelötet werden kann. Das leitfähige Garn nur an die Drahtanschlüsse der LED zu knoten, reicht nicht als stabiler Kontakt aus und die Verbindung würde sich nach einiger Zeit ablösen. Da LEDs eigentlich zu den through-hole technology (THT) Bauteilen gehören und durch eine Durchsteckmontage angebracht werden, müssten die Drahtanschlüsse so gut wie komplett abgeschnitten werden, um die LED an einem Kleidungsstück anzubringen. Deshalb ist es von Vorteil, die Drahtanschlüsse der LED beispielsweise zu einer flachen Spirale zu verbiegen, sodass die LED flach auf dem Textil angebracht werden kann (siehe Abbildung 3.4). Dadurch kann das leitfähige Garn an die neu geformten Drahtanschlüsse geknotet werden, ohne dass es im Nachhinein wieder abrutschen könnte oder die Drahtanschlüsse zu einem unangenehmen Tragekomfort führen würden.



Abbildung 3.4: Vergleich normale LED und Adafruit LED Sequin

Außerdem muss überlegt werden, ob die Höhe der LED für das geplante Produkt sinnvoll ist, da sie weit von einem Textil absteht. Eine normale LED könnte verwendet werden, wenn sie mit Stoff verkleidet wird, sodass die LED komplett oder teilweise verdeckt wird.

Im Vergleich dazu sind die Adafruit LED Sequins den surface-mounted device (SMD) ähnlichen Bauteilen zuzuordnen, da sie auf der Oberfläche angebracht werden, aber nicht auf eine Platine gelötet werden. Bei den LED Sequins ist zu beachten, dass die Befestigungslöcher für das leitfähige Garn sehr klein sind und das Problem auftritt das Nadelöhr durch das Loch zuführen. Entweder man nutzt eine Nähnadel mit einem sehr schmalen Nadelöhr oder selbsteinfädelnde Nadeln, wie in Abbildung 3.5, da bei diesen Nadeln, das Nadelöhr so schmal wie die Nadel selbst ist. Diese können in Fachgeschäften erworben werden.



Abbildung 3.5: Selbsteinfädelnde Nadel

Kapitel 4

Interaktive Jacke für Fahrradfahrer

Dieses Kapitel zeigt eine Schritt-für-Schritt-Anleitung für eine interaktive Fahrradjacke, die leitfähiges Garn als Leitermaterial verwendet.

4.1 Problemstellung

Im Jahr 2015 ereigneten sich in Deutschland 78.068 Verkehrsunfälle mit Radfahrerbeteiligung. Davon verliefen 383 tödlich [Deutsche Verkehrswacht, 2015]. Gerade Abbiegesituationen führen bei Dunkelheit oder schlechter Sicht zu Verkehrsunfällen. Die hier entwickelte Fahrradjacke versucht dieses Unfallrisiko zu minimieren.

4.2 Zielsetzung

Eine Fahrradjacke mit einem integrierten LED-Blinkersystem soll dem Träger ermöglichen sein Abbiegevorhaben anzuzeigen. Zusätzlich wird eine bei Dämmerung aktivierte Signalbeleuchtung in die Jacke integriert, die bei Dunkelheit zu einer erhöhten Sichtbarkeit des Fahrradfahrers führt.

Die Signalbeleuchtung dient lediglich als Ergänzung zur regulären Fahrradbeleuchtung und soll und kann diese nicht ersetzen.

Der integrierte Blinker wird über Touchflächen auf der Brust aktiviert. Diese Touchflächen bestehen aus leitfähigem Stoff. Die Aktivierung des Blinkers soll dem Träger mittels eines Signaltoms bestätigt werden. Der Blinkvorgang wird nach dreimaligem Blinken analog zum „Autobahnblinker“ bei PKWs beendet.

Mittels eines Helligkeitssensors soll bei schlechten Lichtverhältnissen die Signalbeleuchtung in Form von drei roten LED-Kreuzen eingeschaltet werden. Die Stromversorgung wird mittels vier Lithium-Ionen-Batterien im Micro-Formfaktor gewährleistet. Diese befinden sich in einem Batteriehalter mit Ein/Aus-Schalter.

4.3 Anleitung

Dieser Abschnitt beinhaltet eine Schritt-für-Schritt-Anleitung zur Herstellung der oben beschriebenen interaktiven Fahrradjacke. Diese besitzt ein LED-Blinkersystem, welches das Abbiegevorhaben anzeigt, ebenso wie bei Dunkelheit aktivierte Signalleuchten (Rücklicht). Die Anleitung beinhaltet eine Materialliste, bebilderte Schritt-für-Schritt-Herstellungsanweisungen, sowie Informationen zu den verwendeten Programmbibliotheken.

4.3.1 Material

Übersicht der verwendeten Materialien

- 1x Jacke
- 1x FLORA-Mikrocontroller
- Leitfähiges Garn
- Leitfähiger Stoff
- 5x Adafruit LED Sequins - Ruby rot
- 20x Adafruit FLORA RGB Smart Neo Pixel Version 2
- 1x Adafruit Flora Lux Sensor - TSL2561 Lichtsensor - v1.0
- 1x JST-PH Akku-Verlängerungskabel - 500mm
- 1x Lautsprecher
- 4x AAA Batterie
- 1x Batteriehalter für 4x Micro Batterie mit Ein-/Aus-Schalter
- Nähnadeln
- Schere

- Saumband zum Aufbügeln oder Textilkleber
- Schneiderkreide
- Klarer Nagellack
- Zinnbeschichtete Druckknöpfe

4.3.2 Schritt 1 - Vorbereitung

Der erste Schritt zur Herstellung der Fahrradjacke ist eine Anordnung der LEDs auf dem Rücken der Fahrradjacke zu wählen. Hierbei gibt es keine festen Vorgaben. Es ist wichtig, dass man zwischen rechts, links blinken und dem Rücklicht unterscheiden kann. Die Anordnung kann aber prinzipiell frei gestaltet werden. Ein Beispiel für eine LED-Anordnung ist in Abbildung 4.1 zu sehen. Hier wurden zwei ausgefüllte Pfeile, die nach rechts bzw. links zeigen und ein zentrales Kreuz als Rücklicht mit LEDs (NeoPixel-LEDs und LED Sequins) angeordnet. Die Pfeile haben eine Höhe von 18 cm und eine Breite von 10 cm, sodass sie gut im Straßenverkehr wargenommen werden können.

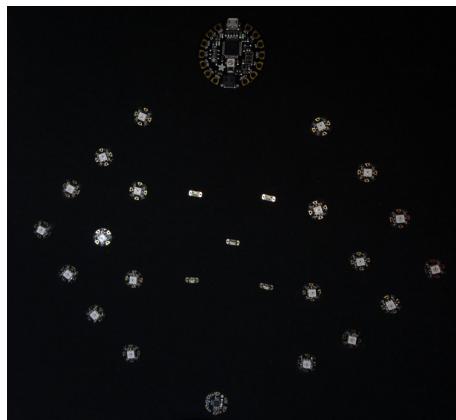


Abbildung 4.1: Die Anordnung der Bauteile auf der Rücken

Das zentrale Kreuz bildet zusammen mit den Füll-LEDs der Pfeile das Rücklicht (Abbildung 4.2).

Die Touchflächen für die Aktivierung des Blinkers können, auf einer für den Träger zugänglichen Stelle, auf der Vorderseite angebracht werden. Bei der hier abgebildeten Fahrradjacke befinden sich die Touchflächen auf dem Brustbereich. Der FLORA-Mikrokontroller wurde oberhalb des Rückteils der Jacke angebracht, so dass er von der Kapuze verdeckt wird. Alternativ kann man den FLORA zum Schutz



Abbildung 4.2: Das Rücklicht besteht aus drei roten Kreuzen

auch nach innen verlegen. Der Lichtsensor wird unterhalb der LEDs angebracht, da an dieser Stelle die Helligkeit optimal gemessen werden kann und der Sensor nicht verdeckt wird. Der Lautsprecher wird am FLORA-Mikrocontroller und die Batterien werden auf der Vorderseite in den Taschen der Jacke angebracht.

Bei der Anordnung ist darauf zu achten, dass die Elemente passend zu den FLORA Pins auf der Jacke platziert werden, da dadurch wenige Überschneidungen des leitfähigen Garns auftreten. Adafruit Wearable Elemente sind so ausgelegt, dass man nebeneinander liegende Pins des FLORA-Mikrocontrollers verwenden kann. Dies wird durch eine spiegelverkehrte Anbringung benachbarter Elemente erreicht. In Abbildung 4.3 ist die Verbindung zwischen FLORA und einer NeoPixel-LED zusehen.

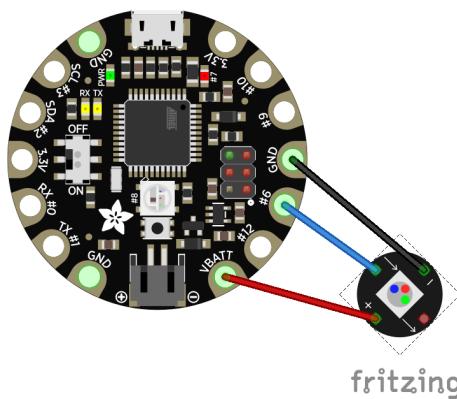


Abbildung 4.3: Verbindungen zwischen FLORA und einer NeoPixel-LED (mit Fritzing erstellt)

Sollte eine andere Anordnung als in dieser Anleitung verwendet werden, kann man mit Hilfe des Programms Fritzing einen Plan für sein Projekt erstellen und Elemente der FLORA Serie hinzufügen. Damit kann man die Anordnung von LEDs und anderen Bauteilen leicht ändern.

rer Elementen in Bezug auf die verwendeten Pins und möglicher Überschneidungen planen. In Abbildung 4.4 ist die finale Anordnung mit Leiterbahnen zu sehen. Es gibt eine Stelle an der sich das leitfähige Garn überschneidet, da ansonsten aufgrund zu langer Leiterbahnen ein Spannungsabfall an den NeoPixel-LEDs zu befürchten ist. Wie man diese Überschneidung näht, ohne dass sich das leitfähige Garn berührt, wird in Abschnitt 4.3.3 beschrieben.

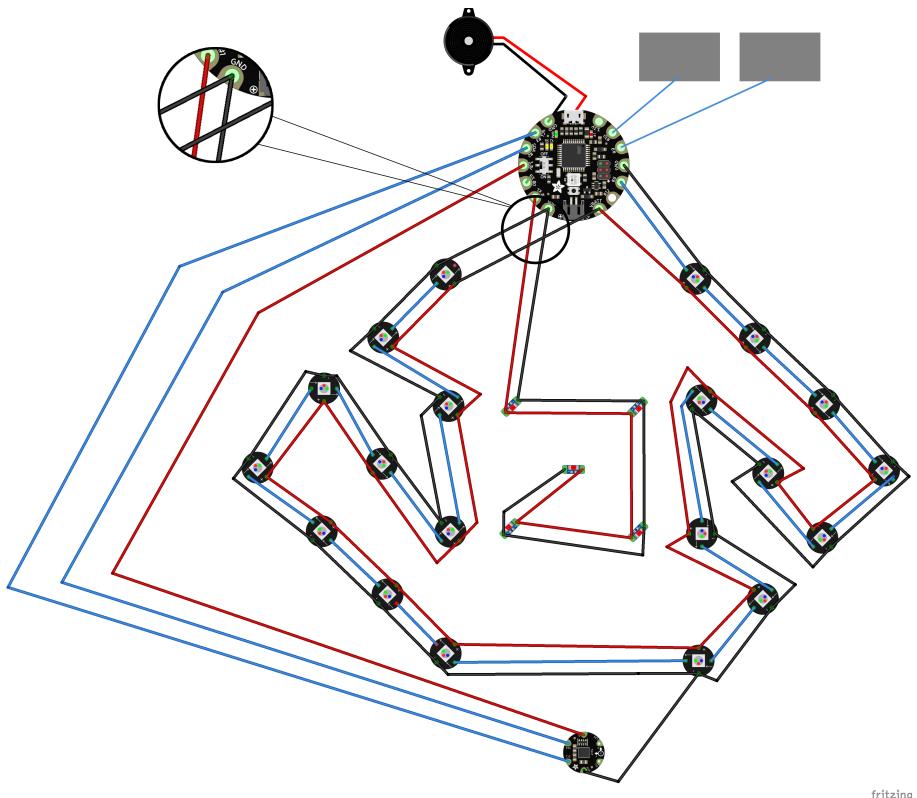


Abbildung 4.4: Anordnung der Elemente mit einer Überschneidung der Leiterbahnen (mit Fritzing erstellt)

Als Stromversorgung werden vier Micro Lithium-Ionen-Batterien empfohlen. Dadurch ergibt sich eine Spannung von 6 Volt. Die Lithium-Ionen-Batterien werden in einen Batteriehalter gesteckt und in einer Tasche der Jacke befestigt. Der Batteriehalter wird über den Japan Solderless Terminal (JST) Port des FLORAs angeschlossen.

Abbildung 4.5 zeigt einen Schaltplan der verwendeten Komponenten.

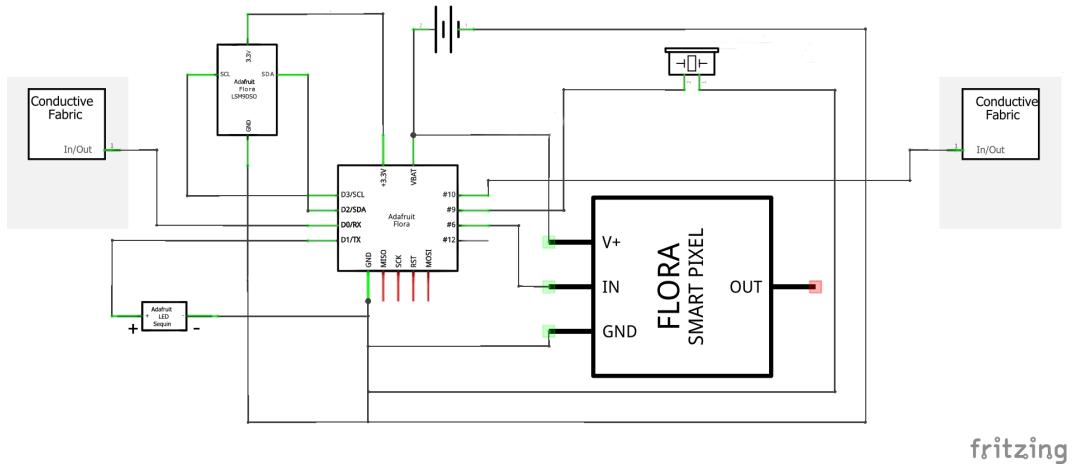


Abbildung 4.5: Schaltplan (mit Fritzing erstellt)

4.3.3 Schritt 2 - Module anbringen

Nachdem die Vorbereitungen abgeschlossen sind, geht es mit dem Befestigen der Bauteile weiter. Auf der Rückseite müssen die meisten Elemente angebracht werden. Dazu gehören 20 NeoPixel-LEDs, 5 LED Sequins, der Lichtsensor und der FLORA Mikrocontroller. Alle Elemente werden untereinander mit leitfähigem Garn verbunden. Die Stellen, wo die Elemente angebracht werden sollen, werden mit Schneiderkreide auf dem Stoff markiert.

Der FLORA-Mikrocontroller wird über Druckknöpfe am Stoff befestigt, damit man ihn ablösen und austauschen kann ohne die Leiterbahnen mit leitfähigem Garn neu annähen zu müssen. Als erstes werden die NeoPixel-LEDs mit leitfähigem Garn auf die Jacke genäht. Am besten beginnt man mit der Verbindung der Datenpins, da diese mittig auf den NeoPixel-LEDs sind und danach schon zwei der vier Pins befestigt sind und so am wenigsten verrutschen können. Der Druckknopf für Pin 6 wird festgeknotet und an den Stoff genäht. Der Knoten wird mit klarem Nagellack fixiert, sodass er sich nicht mehr lösen kann. Nachdem der Druckknopf mit leitfähigem Garn befestigt wurde, kann die erste NeoPixel-LED an ihre Position angenäht werden. Als Nähstich für alle angenähten Elemente wird der Reihstich verwendet. Dabei muss auf die Symbole an den Pins, wie in Abbildung 4.6 gezeigt, geachtet werden. Der Pfeil zeigt in Richtung des neuen NeoPixels mit dem er verbunden wird. Das leitfähige Garn, das von Pin 6 des FLORA-Mikrocontrollers kommt, wird an den in Abbildung 4.6 gezeigten oberen Pfeil genäht.

Dabei sollte die NeoPixel-LED zweimal angenäht werden, damit sie nicht verrutschen kann und zusätzlich verknotet werden. Der Knoten wird wieder mit klarem



Abbildung 4.6: NeoPixel-LED in Detailansicht

Nagellack fixiert, um ein Lösen zu verhindern. Danach geht es mit dem gegenüberliegenden Pfeil weiter, über den die Verbindung zur nächsten NeoPixel-LED geschaffen wird. Erst das leitfähige Garn verknoten, dann mit klarem Nagellack fixieren, zweimal die NeoPixel-LED annähen und bis zur nächsten NeoPixel-LED nähen. Diese ebenfalls zweimal annähen, das Garn verknoten und fixieren. So werden nach und nach alle Verbindungen der Datenpins der 20 NeoPixel-LEDs genäht.

Für den Plus- und den Minuspol kann ein langer Faden verwendet werden, der jeweils alle Pins miteinander verbindet. Zum Abmessen der Länge des Garns, legt man die Bahn, die verbunden werden soll großzügig nach und gibt nochmals ungefähr 10 cm Länge dazu. Somit reicht das Garn auf jeden Fall aus. Der Nähvorgang ist analog zum Nähen der Datenpins, jedoch entfällt die Verknotung an der NeoPixel-LED.

Beim Nähen mit einem langen Faden muss beachtet werden, dass sich das leitfähige Garn schnell verdrehen und verknoten kann. Beim Durchziehen des Garns durch den Stoff muss man darauf achten, dass das Garn komplett durchgezogen wurde und nicht an einer Stelle hängen geblieben ist.

Hat man alle Pins miteinander verbunden, sollte die Rückseite wie in Abbildung 4.7 aussehen.

Danach wird das LED Kreuz aus fünf Adafruit LED Sequins in Rot im Zentrum der beiden Pfeile befestigt. Auch hier werden die Positionen wieder mit Schneiderkreide eingezeichnet, sodass am Ende drei gleich große Kreuze durch die LEDs entstehen. Anders als die NeoPixel-LEDs haben die LED Sequins nur einen Pluspin, der an Pin 1 genäht wird und einen Minuspin, der an Ground (Masse) (GND) genäht wird. Zunächst werden die Pluspins miteinander verbunden. Der Druckknopf für Pin 1 wird wie zuvor für die NeoPixel-LEDs am Stoff befestigt und die LEDs

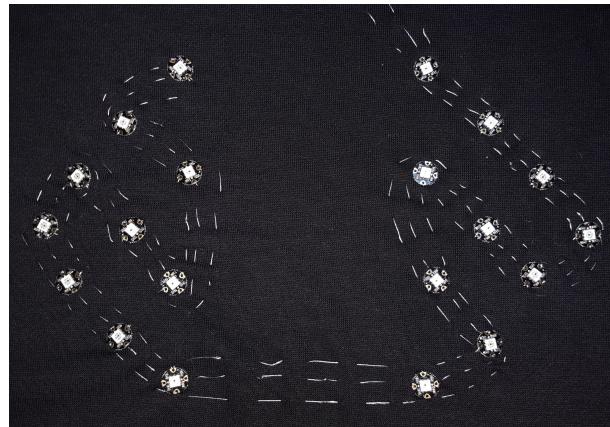


Abbildung 4.7: Ansicht der NeoPixel-LEDs auf der Rückseite der Jacke

werden wieder durch den Reihstich miteinander verbunden. Zuerst werden die äußeren LED Sequins verknüpft und am Schluss die LED Sequins in der Mitte. Das gleiche gilt dann für die Verbindung der Minuspins. Nach diesem Schritt sieht die Rückseite der Jacke wie in Abbildung 4.8 aus.



Abbildung 4.8: Ansicht der LEDs auf der Rückseite der Jacke

Da es bei den NeoPixel-LEDs lange Verbindungen mit leitfähigem Garn gibt und bei den letzten NeoPixel-LEDs eine geringere Spannung anliegt, muss man die GND- und Strom-Pins der letzten NeoPixel-LED, wie in Abbildung 4.9 mit rot markiert, zum FLORA-Mikrocontroller überbrücken. Mit dieser Anordnung der NeoPixel-LED gibt es keine Möglichkeit das leitfähige Garn ohne Überschneidung an den entsprechenden Pins zu befestigen. Durch den Reihstich, kann man das Garn gespiegelt nähen, sodass bei überkreuzenden Bahnen ein Stück Stoff zur Isolierung dazwischen liegt.

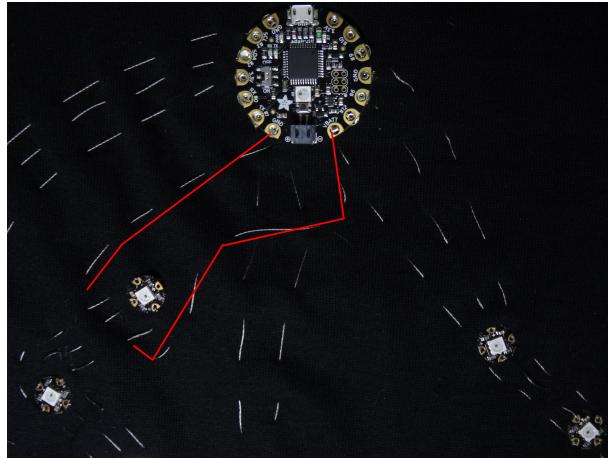


Abbildung 4.9: Die markierte Stelle zeigt die Überschneidung des leitfähigen Garns

Nun wird der Lichtsensor auf der Jacke angebracht und mit dem FLORA-Mikrocontroller durch leitfähiges Garn verbunden. Die Verbindungen dazwischen sind auf Abbildung 4.10 zu sehen. Die Pins GND für Masse, SCL für den Takt, SDA für die Daten und 3V für die Stromversorgung müssen verbunden werden. Das Nähen läuft wie bei den vorherigen Elementen ab. Erst die SCL Pin Position am FLORA-Mikrocontroller durch einen Druckknopf annähen und das Garn verknoten und fixieren, dann mit dem Reihstich die Leiterbahn bis unterhalb der NeoPixel-LED nähen und dort den Lichtsensor annähen und verknoten. Das gleiche gilt für die SDA und 3V Pins. Der GND Pin kann von der GND Leiterbahn der NeoPixel-LED abgegriffen werden und man kann sich die lange Strecke zum FLORA sparen.

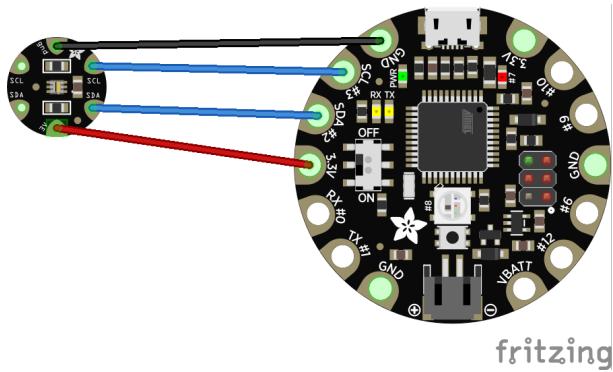


Abbildung 4.10: Verbindungen zwischen FLORA und dem Lichtsensor (mit Fritzing erstellt)

Nun sind alle Elemente, die auf der Rückseite benötigt werden, angebracht. Die Rückseite sieht wie in Abbildung 4.11 aus. Auf der Vorderseite der Jacke fehlen noch die Touchflächen für die Steuerung der Blinker.



Abbildung 4.11: Ansicht der Rückseite mit allen Elementen

Für die Touchflächen werden aus leitfähigem Stoff die gleiche Formen wie die Blinker auf der Rückseite ausgeschnitten, wie in Abbildung 4.12 zu sehen ist. Der leitfähige Stoff wird mit Hilfe von Saumband zum Aufbügeln auf der Höhe der Brust angebracht. Anschließend wird die Verbindung der Touchflächen mit leitfähigem Garn zum FLORA-Mikrocontroller über die Schultern genäht. Die rechte Seite wird mit Pin 10 und die linke Seite mit Pin 0 verbunden. Das Garn zu Pin 0 wird über die Leiterbahnen des Lichtsensor, vergleichbar zu der extra Verbindung zu GND und VBAT beim letzten Neopixel, durchgeführt. Auch hier werden wieder Druckknöpfe an der Position des FLORAs angenäht.

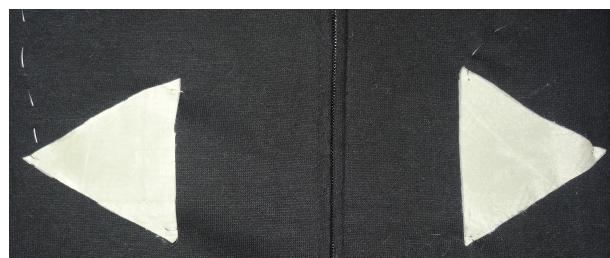


Abbildung 4.12: Ansicht der Touchflächen auf der Vorderseite

Der Batteriehalter wird durch die Innenseite der Jacke bis vor zu einer der Taschen gelegt und kann durch den Ein-/Aus-Schalter die Beleuchtung aktivieren und deaktivieren.

Der Lautsprecher wird an einen beliebigen freien Pin angeschlossen. In dieser Anleitung wurde PIN 9 verwendet.



Abbildung 4.13: Ansicht der fertigen Jacke

In Abbildung 4.13 ist die Rückseite der fertigen Jacke zu sehen.

4.3.4 Schritt 3 - Programmcode

In diesem Abschnitt werden die drei wichtigsten Teile des Programmcodes für die interaktive Fahrradjacke beschrieben. Dazu zählen die Touchflächen, die NeoPixel-LEDs und der Lichtsensor. Der vollständige Code kann auf Github unter folgendem Link herunter geladen werden:

<https://github.com/informatik-mannheim/thesis-conductive-yarn>

Für den Code wurden verschiedene Programmbibliotheken genutzt. Dazu gehört unter anderem die Capacitive Sensing Library von Paul Badger (Arduino) [Badger, 2012]. Diese Bibliothek wird für die Touchflächen aus leitfähigen Stoff auf der Vorderseite der Jacke genutzt. Dadurch werden die Touchflächen als kapazitive

Sensoren erkannt und werden bei kapazitiven Änderungen durch Berührung ausgelöst.

Zur Steuerung der 20 NeoPixel-LEDs wurde die Adafruit NeoPixel Bibliothek verwendet [Adafruit, 2017] . Die aneinander genähten NeoPixel-LEDs werden wie ein NeoPixel Strip erkannt und können genau so gesteuert werden. Da es sich hierbei um RGB LEDs handelt, können die verschiedenen Farben mit Hilfe der Bibliothek gewählt werden. Die Farbe der Blinker ist gelb und die verwendeten NeoPixel-LEDs für das Rücklicht leuchten in rot.

Zum Auslesen der Daten des Lichtsensors wurde die Adafruit TSL2561 Light Sensor Driver Bibliothek [Townsend] verwendet. Mit dem Beispiel Programm sensorapi können die Werte des Sensors ausgelesen und überprüft werden.

Kapitel 5

Schlussbetrachtung

In diesem Kapitel gibt es eine zusammenfassende Übersicht der Best Practices aus Kapitel 3, sowie ein Fazit und ein Ausblick zu der Verwendung von leitfähigem Garn.

Zusammenfassung Best Practices

1. Beim Nähen von Hand sollte am besten der Geradstich zum Nähen verwendet werden.
2. Dabei sollten die Abstände zwischen den Stichen nicht größer als 2 cm sein, da sonst das Garn locker ist und die Wahrscheinlichkeit einer Berührung einer anderen Leiterbahn erhöht wird.
3. Ein Einfädler sollte zur Hilfe genommen werden, da das Garn oft aus dem Nadelöhr rutscht.
4. Beim Nähen mit der Nähmaschine muss die richtige Fadenspannung eingestellt werden.
5. Das leitfähige Garn zum Fixieren verknoten und mit klarem Nagellack bestreichen.
6. Beim Fixieren mit Flüssigkeiten sollte darauf geachtet werden, dass der Stoff keine Flecken bekommt.
7. Das leitfähige Garn lässt sich nicht an andere Bauteile löten.

8. Um eine bessere Leitfähigkeit zu erzielen, kann bei der Nähmaschine das Garn als Ober - und Unterfaden benutzt werden oder beim Nähen von Hand, können mehrere Fäden miteinander verzwirnt werden.
9. Das leitfähige Garn verdreht sich leicht beim Nähen von Hand und es muss darauf geachtet werden, dass keine Knoten entstehen, da das Garn beim Lösen reißen kann.
10. Beim Nähen des leitfähigen Garns darauf achten, dass die Garne sich nicht untereinander berühren können.
11. Stehen einzelne Fäden beim leitfähigen Garn ab, kann Wachs verwendet werden, um das Garn glatt zu bekommen
12. Es ist möglich das leitfähige Garn zu waschen. Es sollte vor der Benutzung allerdings wieder vollständig getrocknet sein.
13. Elektronische Bauteile, die nicht wasserdicht sind, müssen vor dem Waschen entfernt werden. Dies kann mithilfe von Druckknöpfen erreicht werden.
14. Werden spezielle Bauteile verwendet, die für das Annähen geeignet sind, werden Nadeln mit passenden Stärken für die Befestigungslöcher benötigt.

Fazit

Leitfähiges Garn lässt sich besser als herkömmliche Kabel in Textilien integrieren, da es zum einen das Erscheinungsbild von Textilien nicht so stark beeinflusst und zum anderen einen höheren Tragekomfort bietet.

Wenn leitfähiges Garn für ein Produkt in Betracht gezogen wird, ist ein Test der Materialeigenschaften des Garns, sowie die Vorabplanung der Schaltverbindungen unerlässlich. Nachdem das Produkt als reif genug empfunden wird, kann es mit Hilfe von leitfähigem Garn final gebaut werden.

Zur Erstellung von schnellen Prototypen ist leitfähiges Garn eher ungeeignet, da die Verarbeitung und Anbringung der Bauteile deutlich mehr Aufwand mit sich bringt, als beispielsweise das Bestücken von Breadboards.

In dieser Arbeit wurde die Verarbeitung von leitfähigem Garn als Leiterbahn in Textilien untersucht. Neben dieser Verwendung eignet sich leitfähiges Garn vor allem als Material für textile Sensoren, wie beispielsweise Grabcics aus Kapitel 2.4.2.

Ausblick

Aktuell stellt die Isolierung und Befestigung von leitfähigem Garn, innerhalb von Textilien, das größte Hindernis für eine größere Verbreitung dar.

Die Befestigung durch Annähen an Bauteile, wie Mikrocontroller, ist sehr mühsam, da jeder Pin einzeln angenäht werden muss. Dabei muss auch gewährleistet werden, dass sich das leitfähige Garn nicht an den engen Stellen berührt. Eine ähnliche Verarbeitungsmöglichkeit, wie das Crimpen von Steckkontakte, würde die Befestigung von leitfähigem Garn erleichtern.

Außerdem wäre eine direkte Isolation des leitfähigen Garns von Vorteil, beispielsweise mit Hilfe von Lack oder andere Additiven. Durch eine direkte Isolation würden enger verlaufende Leiterbahnen realisierbar und Kurzschlüsse durch versehentlichen Kontakt ausgeschlossen. Die Isolierung sollte einfach entfernbare sein damit beliebig neue Kontaktstellen geschaffen werden können. Die Versuche aus Kapitel 3.4.2: Garn isolieren sollten weitergeführt werden und vor allem die Methode der Isolierung durch konventionelles Garn weiter untersucht werden.

Da das leitfähige Garn und die kapazitiven Sensoren aus leitfähigem Stoff nahezu unsichtbar in Textilien eingearbeitet werden können, können beispielsweise durch Ergänzung von Infrarot-, Wirelesslan- oder Bluetoothmodulen Fernbedienungen oder allgemein Steuerungen in Möbel oder Kleidungsstücke integriert werden.

Durch die Möglichkeit den FLORA-Mikrocontroller als Tastatur an einem Computer zu verwenden, können nicht nur Spielcontroller gebaut werden, sondern auch komplett Tastaturen aus Textilien hergestellt werden.

Abkürzungsverzeichnis

BLE Bluetooth Low Energy

DIY Do-It-Yourself

ESD Electrostatic Discharge

GND Ground (Masse)

GPS Globales Positionsbestimmungssystem

JST Japan Solderless Terminal

LED Leuchtdiode

NES Nintendo Entertainment System

PWM Pulsweitenmodulation

RGB Rot, Grün und Blau

SMD surface-mounted device

THT through-hole technology

Tabellenverzeichnis

3.1	Herstellerangaben zum Widerstand von leitfähigem Garn und Schaltlitze zum Vergleich	21
3.2	Testergebnisse der Widerstandsmessung unter verschiedenen Bedingungen	21
3.3	Messergebnisse vor dem Waschen, im nassen Zustand und nach dem Trocknen	27

x

Abbildungsverzeichnis

2.1	Intelligenzhierarchie nach Newnham [Carvajal Vargas, 2009]	4
2.2	Leitfähiges Garn von adafruit und verschiedene Stärken [Adafruit, a]	7
2.3	Pinout Diagramm FLORA [Stern, 2012]	8
2.4	Muster zur Erkennung von Gesten zur Steuerung des Vorhangs [Heller u. a., 2016]	9
2.5	Grabrics Sensor [Hamdan u. a., 2016]	10
2.6	Aufbau Druck- und Biegungssensor [Perner-Wilson und Satomi, 2009]	12
2.7	Aufbau Potentiometer [Perner-Wilson und Satomi, 2009]	12
2.8	Aufbau Neigungssensor [Perner-Wilson und Satomi, 2009]	13
2.9	Aufbau Streichelsensor [Perner-Wilson und Satomi, 2009]	13
3.1	Plush Game Controller von B. Stern [Stern, 2013b]	16
3.2	Druckknöpfe wurden an den FLORA gelötet, um ihn austauschbar zu machen	18
3.3	Verzwirnung der Garne. A: Thin Conductive Thread Adafruit, B: Medium Conductive Thread Adafruit, C: Conductive Thread Sparkfun, D: Smooth Thread, Sparkfun	20
3.4	Vergleich normale LED und Adafruit LED Sequin	28
3.5	Selbststeinfädelnde Nadel	29
4.1	Die Anordnung der Bauteile auf der Rücken	33
4.2	Das Rücklicht besteht aus drei roten Kreuzen	34
4.3	Verbindungen zwischen FLORA und einer NeoPixel-LED (mit Fritzing erstellt)	34
4.4	Anordnung der Elemente mit einer Überschneidung der Leiterbahnen (mit Fritzing erstellt)	35
4.5	Schaltplan (mit Fritzing erstellt)	36
4.6	NeoPixel-LED in Detailansicht	37
4.7	Ansicht der NeoPixel-LEDs auf der Rückseite der Jacke	38
4.8	Ansicht der LEDs auf der Rückseite der Jacke	38
4.9	Die markierte Stelle zeigt die Überschneidung des leitfähigen Garns	39
4.10	Verbindungen zwischen FLORA und dem Lichtsensor (mit Fritzing erstellt)	39

Abbildungsverzeichnis

4.11 Ansicht der Rückseite mit allen Elementen	40
4.12 Ansicht der Touchflächen auf der Vorderseite	40
4.13 Ansicht der fertigen Jacke	41

Literaturverzeichnis

- [Adafruit a] ADAFRUIT: *Adafruit leitfähiges Garn.* – URL
<https://www.adafruit.com/products/641>. – Zugriffsdatum: 26.01.2017
- [Adafruit b] ADAFRUIT: *FLORA*. – URL
<https://www.adafruit.com/product/659>. – Zugriffsdatum: 26.01.2017
- [Adafruit 2017] ADAFRUIT: *Adafruit NeoPixel Library*. 2017. – URL
https://github.com/adafruit/Adafruit_NeoPixel. – Zugriffsdatum: 2017-02-14
- [Badger 2012] BADGER, Paul: *A library for Capacitive Sensing with Arduino / Wiring*. 2012. – URL <https://github.com/moderndevice/CapSense>
- [Berglin 2013] BERGLIN, Lena: Smart Textiles and Wearable Technology. In: *BalticFashion* (2013), S. 1–33. – URL
http://www.hb.se/Global/THS/BalticFashion_rapport_Smarttextiles.pdf
- [Carvajal Vargas 2009] CARVAJAL VARGAS, Sina: *Smart Clothes - Textilien mit Elektronik: Was bietet der Markt der intelligenten Bekleidung?* Hamburg : Diplomica Verlag GmbH, 2009. – ISBN 978-3-8366-7230 6
- [Cherenack und Van Pieterson 2012] CHERENACK, Kunigunde ; VAN PIETERSON, Liesbeth: Smart textiles: Challenges and opportunities. In: *Journal of Applied Physics* 112 (2012), Nr. 9. – ISBN doi:10.1063/1.4742728
- [Cute Circuit 2017] CUTE CIRCUIT: *Cute Circuit*. 2017. – URL
<https://cutecircuit.com/>. – Zugriffsdatum: 12.02.2017
- [Deutsche Verkehrswacht 2015] DEUTSCHE VERKEHRSWACHT: *Unfälle von Radfahrern*. 2015. – URL <http://www.deutsche-verkehrswacht.de/home/bmvi-projekte/radfahrer/unfallstatistik-radfahrer.html>. – Zugriffsdatum: 14.02.2017
- [Future-Shape] FUTURE-SHAPE: SensFloor : Großflächiges drahtloses Sensorsystem für Ambient Assisted Living.
- [Haladjian u. a. 2016] HALADJIAN, Juan ; BREDIES, Katharina ; BRUEGGE, Bernd: Interactex: An integrated development environment for smart textiles. In: *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive*

and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers (2016), S. 8–15. – URL <http://iswc.net/iswc16/>. ISBN 9781450344609

[Hamdan u. a. 2016] HAMDAN, Nur Al-huda ; THAR, Jan ; HELLER, Florian ; BORCHERS, Jan ; WACHARAMONOTHAM, Chat: Grabrics : A Foldable Two-Dimensional Textile Input Controller. In: *CHI Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (2016), S. 2497–2503. ISBN 9781450340823

[Hartman 2014] HARTMAN, Kate: *Wearable Electronics: design, prototype, and wear your own interactive garments*. Maker Media, Inc., 2014. – ISBN 978-1-449-33651-6

[Heller u. a. 2016] HELLER, Florian ; OSSMANN, Lukas ; HAMDAN, Nur Al-huda ; BRAUNER, Philipp ; HEEK, Julia V. ; SCHEULEN, Klaus ; MÖLLERING, Christian ; GOSSEN, Laura ; WITSCH, Rouven ; ZIEFLE, Martina ; GRIES, Thomas ; BORCHERS, Jan: Gardeene ! Textile Controls for the Home Environment. (2016), Nr. September 2016, S. 1–4

[Kallmayer und Simon 2012] KALLMAYER, Christine ; SIMON, Erik: Large area sensor integration in textiles. In: *International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, SSD 2012 - Summary Proceedings* m (2012). ISBN 9781467315906

[Linz u. a. 2006] LINZ, Torsten ; KALLMAYER, Christine ; ASCHENBRENNER, Rolf ; REICHL, Herbert: Fully integrated EKG shirt based on embroidered electrical interconnections with conductive yarn and miniaturized flexible electronics. In: *Proceedings - BSN 2006: International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks* 2006 (2006), S. 23–26. ISBN 0769525474

[McCann und Bryson 2009] MCCANN, J ; BRYSON, D: Smart clothes and wearable technology. In: *AI Soc.* 22 (2009), Nr. 1, S. 459. – URL <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=HsikAgAAQBAJ&pgis=1>. ISBN 978-1-84569-357-2

[Medical Design & Outsourcing 2016] MEDICAL DESIGN & OUTSOURCING: Improving healthcare with smart, wireless, and wearable sensors. (2016). – URL <http://www.medicaldesignandoutsourcing.com/improving-healthcare-with-smart-wireless-and-wearable-sensors/>. – Zugriffsdatum: 13.02.2017

[MEWA 2017] MEWA: *Produktschutzkleidung ESD von MEWA*. 2017. – URL <http://www.mewa.de/produkte/berufsbekleidung/schutzkleidung/produktschutz-esd/>. – Zugriffsdatum: 26.01.2017

[Mietke 2017] MIETKE, Detlef: *Ohmsche Widerstände Wirkwiderstände - Das Temperaturverhalten – der Temperaturkoeffizient.* 2017

[Perner-Wilson und Satomi 2009] PERNER-WILSON, Hannah ; SATOMI, Mika: DIY Wearable Technology. In: *ISEA 15th International Symposium on Electronic Art.* (2009), S. 1–6

[Pwc 2015] PWC: Wearables : Die tragbare Zukunft kommt näher. (2015), S. 1–25

[Stern 2012] STERN, Becky: *FLORA Pinout Diagram.* 2012. – URL <https://learn.adafruit.com/assets/2845>. – Zugriffsdatum: 2017-02-14

[Stern 2013a] STERN, Becky: *Anleitung Firewalker LED Sneaker.* 2013. – URL <https://learn.adafruit.com/firewalker-led-sneakers/overview>. – Zugriffsdatum: 31.12.2016

[Stern 2013b] STERN, Becky: *Anleitung Plush Game Controller.* 2013. – URL <https://learn.adafruit.com/plush-game-controller/stitch-circuit?embeds=allow{&}view=all>. – Zugriffsdatum: 03.01.2017

[Townsend] TOWNSEND, Kevin: *Adafruit TSL2561 Light Sensor Driver.* – URL https://github.com/adafruit/Adafruit_TSL2561. – Zugriffsdatum: 14.02.2017

[Trubat González 2014] TRUBAT GONZÁLEZ, Lesia: *E-Traces - Memories of Dance.* 2014. – URL <http://cargocollective.com/lesiatrubat/E-TRACES-memories-of-dance>. – Zugriffsdatum: 26.01.2017

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei den Personen bedanken, die mich bei meiner Bachelorarbeit unterstützt haben.

Für die Betreuung meiner Bachelorarbeit möchte ich mich bei Frau Prof. Kirstin Kohler und Herrn Prof. Thomas Smits bedanken. Sie gaben mir stets wertvolle Anregungen während der Anfertigung dieser Arbeit.

Mein Dank gilt auch der Hochschule Mannheim für die zur Verfügung gestellten finanziellen Mittel, die das Durchführen meiner Forschungen ermöglichten.

Des Weiteren möchte ich meiner Familie und meinem Freund danken. Sie standen mir während meines Studiums immer zur Seite und unterstützten mich wo sie nur konnten.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinem Vater, Michael und meinem Bruder, Pierre Volz, für das Korrekturlesen meiner Arbeit.

