



Soft Touch

Soft Touch:

*Herstellung textiler kapazitiver Berührungssensoren anhand
traditioneller handwerklicher Textilverarbeitungsmethoden.*

Leonie Spachholz
Bachelorarbeit Proposal 2
Interaction Design
Prof. Dr. Lasse Scherffig

BA Integrated Design
Technische Hochschule Köln
Fakultät für Kulturwissenschaften
Köln International School of Design
Vorgelegt am 04.07.2019

Inhalt

| | |
|----|------------------------------------|
| 1 | Einleitung |
| | Textiles Interface für E-Textilien |
| | Definitionen |
| | Multidisziplinarität |
| | Kapazitive Sensorik |
| 9 | Techniken & Werkzeuge |
| | Elektronik |
| | Nähen |
| | Trockenfilzen |
| | Stricken & Häkeln |
| 15 | Materialien |
| | Leitendes Garn |
| | Wolle & Garne |
| | Leitende Wolle |
| | Stoffe |
| | Leitender Stoff |
| 23 | Nähen |
| | Nähen: offen |
| | Nähen: geschützt |

| | | | |
|----|------------------------------|----|----------------------------|
| 29 | Filzen | 69 | Beispiel |
| | Auffilzen | | Widerstand vorbereiten |
| | Formfilzen | | Planung & Verbindungsnahte |
| | Anpassungen | | Annähen der Elektronik |
| | Variationen | | Annähen des Sensor |
| 39 | Stricken | | Versäubern der Nahte |
| | Sensor stricken | | Code: Binäre Schwelle |
| | Sensor einstricken | | Code: Analoges Mapping |
| | Variationen & Anpassungen | 80 | Ausblick |
| 47 | Häkeln | 82 | Quellen |
| | Kreis häkeln | | |
| | Variationen & Anpassungen | 84 | Selbstständigkeiterklärung |
| | Nass verfilzen | | |
| | Ball häkeln | | |
| | Variationen & Anpassungen | | |
| 59 | Einrichten & Testen | | |
| | Microcontroller Setup | | |
| | Generelle Hardwareverbindung | | |
| | Flexible Prototypverbindung | | |
| | Verbindung Sensor zu Naht | | |
| | Sensorwerte ablesen | | |
| | Grundcode | | |





Einleitung

Textiles Interface für E-Textilien

2

Der Bereich der E-Textilien, also die Integration von Elektronik in Textilien, ist seit einigen Jahren im Aufschwung. Es wird aktiv an wärmenden, leuchtenden oder auch energieproduzierenden textilen Technologien geforscht, doch sind die industriellen Herstellungsmethoden noch nicht ausgereift. Bis jetzt begrenzen sich die Produkte außerhalb der Forschung auf Unikate und Prototypen aus dem Hobby- und Designbereich.

Der Bereich der E-Textilien lockt immer mehr technikfremde Menschen an. In einer immer technologisierteren Welt ist es wichtig, besonders für die jüngsten Generationen, auch technologisch versiert zu sein. Elektronik und Programmierung wirken aber für viele Menschen sehr trocken, unverständlich und manchmal sogar einschüchternd. Der multidisziplinäre Bereich der E-Textilien hat gezeigt, dass es eine größere Vielfalt an Menschen für diese technischen Bereiche interessieren und begeistern kann. Diese oft als abstrakt und sehr theoretisch wahrgenommenen Disziplinen werden greifbarer und somit attraktiver zu lernen. E-Textilien bieten die Möglichkeit Technik auf äußerst kreative Weise umzusetzen.

Die großen Vorteile der E-Textilien gegenüber der traditionellen, harten Elektronik sind die Flexibilität und Taktilität. Stoffe und Textilien sind weich und lassen sich in alle Richtungen biegen und ziehen. Sie fühlen sich warm an und vermitteln ein angenehmeres taktiles Gefühl als glatte metallische oder aus Kunststoff bestehende Oberflächen.

Dieser Vorteil kann besonders beim Interface von Vorteil sein, denn: Irgendwie muss mit der Elektronik interagieren werden können. Wozu die Technik in Stoff integrieren, wenn man sie dann anschließend doch mit traditionellen harten Bedienelementen steuert? Die Schnittstelle zwischen dem Menschen und der Elektronik profitiert am meisten von den haptischen Qualitäten der Textilien.

Kapazitive Sensorik ermöglicht nicht nur eine sehr zuverlässige Berührungserkennung, bereits Nähe kann erkannt werden. Durch die Verarbeitung leitender Garne und Stoffe können so textile Berührungssensoren hergestellt werden. Diese funktionieren durch die hohe Sensibilität selbst, wenn

der Sensor selbst noch von einer anderen Textilen Schicht geschützt ist. Kapazitive Sensorik ermöglicht es also mit der vollständigen Freiheit der Oberflächenwahl, Berührungssensorik in Textilien zu integrieren.

Im Laufe der folgenden Seiten werden verschiedene Varianten an textilen kapazitiven Sensoren, ihr Herstellungsprozess und ihre Verbindung an die Elektronik vorgestellt. Hierzu werden die traditionellen Handwerkstechniken des Nähen, Filzen, Stricken und Häkeln eingesetzt. Mithilfe leitender Garne, Wolle und Stoffe lassen sich so Low-Tech-Techniken, zur Erstellung von High-Tech-Objekten nutzen.

Diese Beispiele sollen als Ideen und Anstöße für weitere Projekte und Experimente dienen, denn: Die Möglichkeiten sind schier unendlich. Das Interesse für E-Textilien wird in den nächsten Jahren mit den Fortschritten der Forschung steigen und sich bereits jetzt mit der Materie zu beschäftigen kann für Designer nur von Vorteil sein; doch ob Gestalter, Ingenieur oder auch Bastler, jeder hat das Potential sich in diese junge Disziplin zu stürzen und neue Ideen und Erkenntnisse beizusteuern.

Definitionen

Microcontroller / Mikrocontroller

Ein Microcontroller ist ein Mikroprozessorsystem, das eigenständig bestimmte Aufgaben, besonders Mess- und Steuerungsfunktionen, ausführen kann.

Library / Bibliothek

Eine Library (Bibliothek) ist eine Ansammlung von Funktionen und Unterprogrammen, die bereits in kompilierter Form vorliegen. Sie bietet Funktionalitäten und Lösungswege für bestimmte Bereiche und Problemstellungen.

Sensor

„Sensor“ stammt vom lateinischen Wort „sensus“ (Sinn) ab und bedeutet „Fühler“. Ein Sensor dient zur quantitativen und qualitativen Messung von physikalischen, chemischen, klimatischen, biologischen und medizinischen Größen.

Sensoren ermöglichen es, nicht-elektronischen Aktionen in elektrische Signale umzuwandeln. In diesem Fall geht es darum, berührungsmechanische Interaktion mit Stoff zu erkennen und für weitere elektronische Zwecke nutzbar zu machen.

Kapazität

Die Kapazität ist die Eigenschaft eines Bauteils eine elektrische Energie zu speichern. Sie gibt das Fassungsvermögen für elektrische Ladungen an.

Es stoßen hier mehrere Disziplinen zusammen: einerseits traditionelle Handwerkstechniken, andererseits aber auch Elektronik und Programmierung. Jeweilige Grundkenntnisse in den verschiedenen Bereichen sind für das Nachstellen der hier vorgestellten Objekte nötig, da sonst der Rahmen dieser Arbeit gesprengt werden würde.

Fehlende Kenntnisse können anhand von Literatur oder anderen Medien für alle Bereiche nachgeholt werden:

Handwerkstechniken wie beispielsweise das Stricken und Häkeln können anhand von Handwerksbüchern gelernt werden. Wem Beschreibungen oder Bilder nicht reichen, der kann auf eine mittlerweile große Vielfalt an Videos zurückgreifen (beispielsweise auf Youtube), in denen man jeden Schritt genau mitverfolgen kann. Am einfachsten lernt es sich aber, wenn eine Person es einem zeigt: Vielleicht kann ihre Großmutter gut stricken?

Wem Kenntnisse im Bereich der Elektronik fehlen, wird auch in Fachbüchern oder im Internet fündig. Seiten wie beispielsweise Elektronik-Kompodium.de bieten einfaches und verständliches Grundlagenwissen.

Der benötigte C++ Code für die Projekte wird hier mitgeliefert, doch Programmierkenntnisse ermöglichen es, diesen an den eigenen Anwendungsbereich anzupassen. Alle möglichen Programmfunktionen bzw. Programmcodes des hier eingesetzten Arduino-basierten Microcontrollers werden auf [arduino.cc](#) unter dem Punkt „reference“ genauer beschrieben. Für Programmierneulinge bieten Websites wie etwa [Codeacademy](#), [w3schools.com](#) oder [learncpp.com](#) online-Kurse mit direkten Programmierübungen, nach dem Motto „learning by doing“.

Seiten wie etwa [funduino.de](#) bieten einen guten Einstieg in die Arduino-Plattform und zeigen, was für weitere Möglichkeiten bestehen, und wie man sie umsetzen kann.

Kapazitive Sensorik

Kapazitive Sensoren basieren auf der Messung ihrer Kapazitätsänderung und erlauben es, Berührung oder auch Nähe zu erkennen. Es gibt verschiedene Arten kapazitiver Sensorik, doch hier wird nur selbst-kapazitive Sensorik behandelt: In diesem Fall besteht der Sensor nur aus einer Sensorfläche, also einer Elektrode.

Die Elektrode wird kontinuierlich geladen und entladen. Der Output-Pin des Microcontrollers sendet eine Zustandsänderung, welche schlussendlich vom Input-Pin gemessen wird. Der Zeitverzug dieser Zustandsänderung zwischen den zwei Pins wird von dem Microcontroller gemessen und anhand der entsprechenden Library zu einem einfach nutzbaren arbiträren Wert umgewandelt.

Der Menschliche Körper besitzt eine eigene Ladung. Nähert sich nun ein Finger der Elektrode, beeinflusst es dessen Ladungen, und somit dessen Kapazität. Diese ändert sich relativ zum Abstand zwischen Finger und Elektrode. Dies drückt sich auch in der Beeinflussung der Zeit, welche für die Ladung und Entladung der Elektrode nötig ist, mit aus: Der Wert schießt hoch.

Kapazitive Sensoren wurden bis jetzt meist mit harten elektronischen Komponenten gebaut. Anhand leitender Garne und Textilien ist es nun aber möglich, diese Technologie auch in weicher Form umzusetzen.

Die Effektivität eines Kapazitiven Sensors ist unter Anderem von folgenden Faktoren abhängig:

Für ein starkes Signal ist eine gute Erdung nötig. Ist der Microcontroller per USB an einem Laptop angeschlossen, sollte dieser mit dem Netzteil an der Steckdose stecken. Möchte man den Microcontroller mobil einsetzen, muss die Erdung auf eine andere Weise geschehen.

Je größer die Sensoroberfläche, desto stärker das Signal.

Je höher der benutzte Widerstand, desto stärker das Signal.

Ob die Sensorfläche offen oder geschützt ist beeinflusst das Signal (siehe Seite 35). Offene Sensoren reagieren am zuverlässigsten auf Berührung, geschützte Sensoren eignen sich aber besser, wenn man lineare Werte benötigt.



Techniken
&
Werkzeuge

Elektronik

Um elektrische Größen wie Stromstärke, Spannung oder Widerstände messen zu können ist ein Multimeter unentbehrlich. Mit dessen Hilfe kann man Kurzschlüsse erkennen, Widerstände testen oder auch den Widerstand einer Strecke leitenden Garns messen.

Krokodilklemmen sind in der Testphase sehr hilfreich. Sie ermöglichen es schnell, flexibel und mit minimalem Widerstand die verschiedenen Komponenten miteinander zu verbinden.

Widerstände werden für die Kapazitive Sensorik benötigt. Je nach Anwendung können hier Widerstände von $50\text{ K}\Omega$ bis $50\text{ M}\Omega$ die erwünschten Ergebnisse bringen. Eine kleine Rundzange hilft, die Widerstände in eine nährbare Form zu biegen.

Als Microcontroller setzen wir hier den "Flora" von Adafruit ein. Dieser ist speziell für den textilen Bereich entwickelt worden, doch eignen sich auch noch andere Microcontroller für diesen Zweck.

10



Nicht nur Sensoren aus Stoff müssen genäht werden: auch gefilzte, gestrickte oder gehäkelte Sensoren müssen irgendwie mit dem Rest der Elektronik verbunden werden, und dies geschieht im textilen Bereich idealerweise mit leitenden Verbindungsnahten anstatt harten Kabeln.

Eine gute Stoffschere, sowie eine enbehrlliche Schere werden zum Schneiden von Stoffen und Garnen benötigt. Für das Nähen braucht man verschiedene Nähnadeln, Stopfnadeln für dickeres Garn und eventuell auch Stecknadeln für provisorische Befestigungen. Eine Nähmaschine beschleunigt den Prozess ungemein und ist zu empfehlen. Ein Nahtauffrenner hilft, wenn man sich doch vernäht hat, und mit Schneiderkreide kann auf Stoff vorgezeichnet werden.

Mit Textilkleber können Stoffe zusätzlich geklebt werden. Sockenstopp, alternativ auch Nagellack, kann hervorragend zum absichern von Garnenden benutzt werden.

Nähen



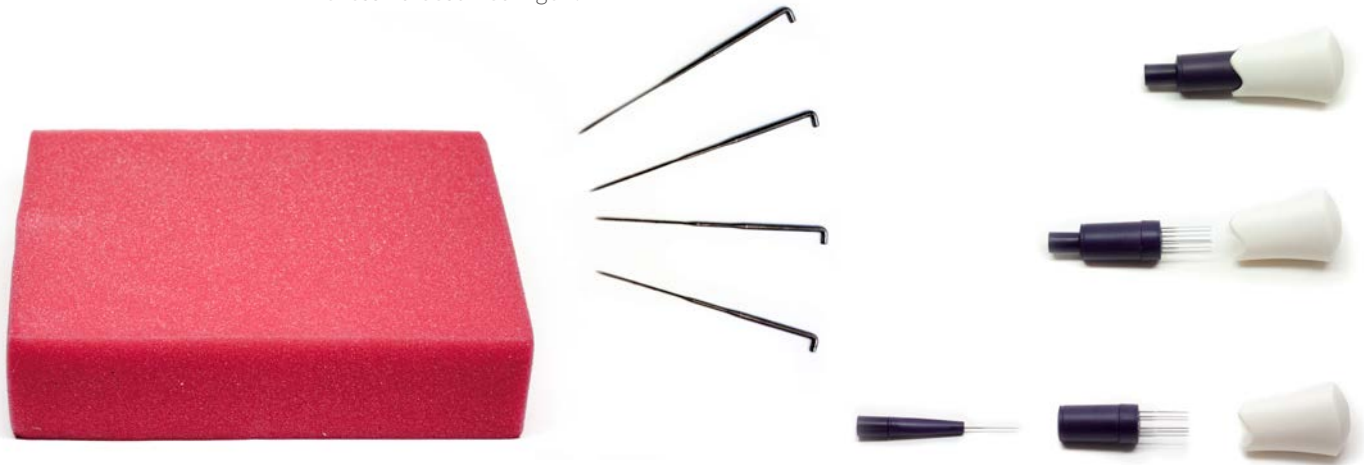
Trockenfilzen

Für das Trockenfilzen benötigt man Filznadeln verschiedener Feinheitsgrade. Filznadeln sind sehr spitz und mit kleinen Widerhaken versehen. Sticht man mit der Nadel in die Wolle, so ziehen die Widerhaken die Wollfasern kreuz und quer, wodurch sich das Filzobjekt verdichtet.

Filzen ist eine Technik die es ermöglicht sowohl mit Farben, als auch mit Formen sehr kreativ zu arbeiten. Für das Trockenfilzen eignet sich eine Schaumstoffmatte als Arbeitsunterlage. Somit kann man das zu filzende Objekt auf die Unterlage legen und notfalls in diese hineinstechen. Das Filzobjekt mit den Händen in der Luft zu halten kann sich bei der Arbeit mit der spitzen Filznadel als schmerzhaft erweisen.

Mit einem Filznadelhalter kann man gleich mehrere Filznadeln in einen Griff einspannen um den Prozess zu beschleunigen.

12



Sowohl beim Stricken, als auch beim Häkeln wird Garn zu einem Maschengebilde verarbeitet. Beim Stricken werden je nach Arbeit von 2 bis 5 Stricknadeln, oder auch eine Rundnadel benötigt. Das Häkeln dagegen funktioniert mit nur einer Häkelnadel, welche im Gegensatz zu einer Stricknadel am Ende einen Haken besitzt.

Häkeln ist sehr einfach und lässt sich schnell erlernen, dafür benötigt es mehr Garn und erzeugt eine deutlich steifere Struktur als das Stricken. Für Anfänger rate ich, sich erst mit Häkeln zu versuchen.

Stricken ist dagegen schwieriger und benötigt erst einmal viel Geduld und Übung. Dafür sind die Möglichkeiten durch eine hohe Varianz an Mustern sehr weit und die Strukturen können anschmiegsam und elastisch gestrickt werden.

Maschenmarkierer helfen bei komplizierteren Stücken nicht den Überblick zu verlieren. Alternativ kann man stattdessen auch erst einmal Sicherheitsnadeln benutzen.







Materialien



Leitendes Garn

Leitendes Garn ersetzt im textilen Bereich die Kabel der harten Elektronik und leiten Strom und Informationen innerhalb der Textilobjekte. Mit dem Garn werden die Verbindungen zwischen verschiedenen Komponenten einfach genäht bzw. auch gestickt. Die Verbindungen sind sehr weich und flexibel im Gegensatz zu einem Kabel. Durch kreative Nähbahnen oder auch Stickereiarbeiten können diese funktionalen Verbindungen zudem auch noch ästhetisch aufgewertet werden.

Es gibt jedoch auch gewisse Nachteile. Das Garn ist im Gegensatz zu üblichem Kabel nicht isoliert. Gehen die Verbindungen über lange Strecken, so wird der Widerstand zu hoch. Die Distanzen sind also begrenzt.

Das Fehlen einer isolierenden Schicht führt auch zu dem nächsten Punkt: Es können Kurzschlüsse entstehen. Um diese zu vermeiden muss vorausschauend geplant werden um wenn nötig die genähten Bahnen gegen unerwünschte Kontakte zu schützen.



Der Widerstand, der über die genähte Strecke herrscht ist von vielen Faktoren abhängig: die Länge der Verbindung, die Art des Garns, die Fadenspannung, die Stichart, die Qualität der Endverbindung (Knoten, leitender Kleber usw.), Temperatur und Luftfeuchtigkeit etc...

Aus diesem Grund ist es empfehlenswert für das eigene Projekt mit den vorhandenen Materialien eigene Versuche und Messungen durchzuführen.

Einige Tipps können aber gegeben werden:

- Der Widerstand sinkt, je mehr leitfähiges Material "auf dem Weg" ist.
- Muss eine leitende Bahn händisch genäht werden so bietet der sogenannte "Rückstich" eine recht zuverlässige elektrische Verbindung.
- Möchte man steiferes leitendes Garn mit der Nähmaschine benutzen, so empfiehlt es sich es als Unterfaden zu benutzen: Somit wird es nicht durch das Nadelöhr gezogen und franst es nicht so stark aus. Zudem bietet es die Möglichkeit, einen beliebig-bunten Oberfaden für die sichtbare Oberseite zu wählen.
- Leitendes Garn ist oft steifer als übliches Garn, was dazu führt, dass Knoten sich einfach lockern und lösen. Um das zu vermeiden und die Garnenden zu sichern kann beispielsweise Sockenstopp benutzt werden.



Wolle & Garne

Es gibt sowohl Wolle tierischer (Schaf, Alpaka, Lama etc.), pflanzlicher (Baumwolle, Bambus, Leinen etc.), oder auch synthetischer Herkunft (Acryl, Nylon, Polyester etc.). Mischwolle bringt nochmal spezielle Eigenschaften mit sich. So sind Mischgarne oft strapazierfähiger als reine Naturfasergarne oder leichter als reine Schafwollgarne.

Wolle ist in mehreren Formen vorzufinden:

Kammzugwolle wurde so gekämmt, dass alle Fasern in eine Richtung zeigen. Diese wird, so wie auch Vlieswolle zum Filzen eingesetzt, wobei Vlieswolle durch seine krause Struktur besser für dreidimensionale Trockenfilzarbeiten geeignet ist.

In verschiedenen Stärken kann gesponnene Wolle als Wollgarn zum Stricken, Häkeln, Weben, Nähen und Knüpfen eingesetzt werden. Es gibt auch Filzstrickwolle welche erst gestrickt oder gehäkelt wird. Anschließend kann das fertige Objekt noch verfilzt werden, wodurch die Strick- bzw. Häkelstruktur verschwindet.





Leitende Filzwolle kann hervorragend zum Filzen benutzt werden. Sie besteht aus einer Mischung sehr feinen, leitenden und rostfreien Stahlfasern und üblicher Wolle (oder Polyester, welches sich jedoch schlechter filzen lässt)

Es sollte aufgepasst werden, dass keine chloridhaltigen Seifen oder Reinigungsmittel in Kontakt mit der Wolle kommen, da diese trotz rostfreien Stahls beim Kontakt mit Chloriden zu rosten anfängt.

Alternativ zu leitender Wolle kann für erste Versuche auch handelsübliche "feine" Stahlwolle aus dem Baumarkt benutzt werden. Es ist jedoch zu bedenken, dass diese für Filzzwecke nicht besonders fein ist, sich somit schlechter verfilzen lässt und zudem sowohl während des Filzprozesses, als auch danach starken Stahlstaub verursacht.

Leitende Wolle





Stoffe

Stoff lässt sich in vielen Varianten finden. Das Material und die Web- oder Strickart entscheiden über die Oberfläche und Haptik des Stoffes: fein, grob, weich, hart, fließend, steif, glänzend, matt etc... Es gibt Stoffe aus natürlichen, sythetischen oder auch Mischfaser.

Manche fransen mehr oder weniger aus: Filzstoff beispielsweise franst durch seine Struktur nicht aus und eignet sich somit hervorragend zur Herstellung von Prototypen. Aus diesem Grund werden wir hier mit Filzstoffen arbeiten.

Je nach Projekt lohnt es sich aber einen passenden Stoff für sein Ziel auszusuchen und besonders auf die haptischen Eigenschaften zu achten, welche der große Vorteil textiler Sensoren sind.





Leitenden Stoff gibt es in verschiedenen Varianten:

Strickstoff ist elastisch und lässt sich drapieren. Hierdurch kann es besser um Kurven und andere organischere Formen gelegt werden. Der Widerstand varriert beim Auseinanderziehen des Stoffes, was je nachdem bedacht werden muss. Der Garn des Strickstoffes ist meist ein natürliches Garn, welches mit leitend beschichtendem Garn zusammengespinnt ist. Dadurch hat es meist eine sehr natürliche von Textilien gewohnte Textur.

Gewobener, leitender Stoff ist im Gegensatz zu Strickstoff nicht elastisch und lässt sich auch schlecht um organische Formen legen. Im Gegensatz zum Strickstoff ist die Leitfähigkeit dafür stabil und es gibt keine Änderung des Widerstands durch Dehnung. Je nach leitendem Stoff kann sich dieses auch eher wie Papier als wie Stoff anfühlen.

Kleiner Hinweis: Bedenken dass leitender Stoff, Klängen und Scheren schnell abstumpfen lässt!

Leitender Stoff

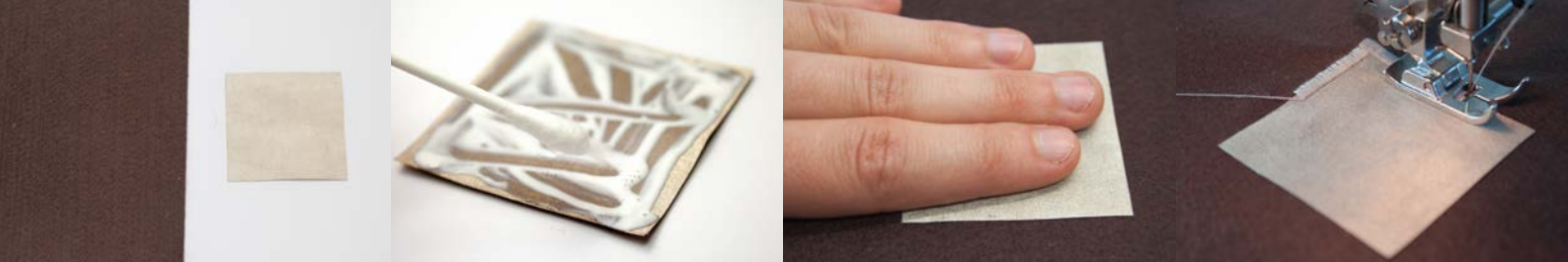






Nähen





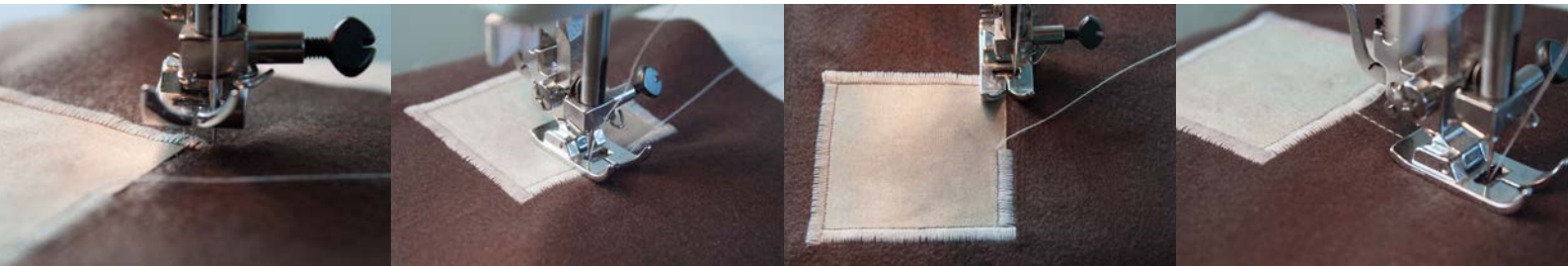
In diesem ersten Beispiel zeigen wir erst, wie ein offener Sensor mit leitendem Stoff genäht wird. Erst wird die Sensorfläche in der erwünschten Form aus dem leitenden Stoff ausgeschnitten. (1) Die Fläche kann nun auf den Grundstoff angebracht werden. Entweder sie wird nur geklebt, direkt vernäht oder sowohl geklebt, als auch vernäht.

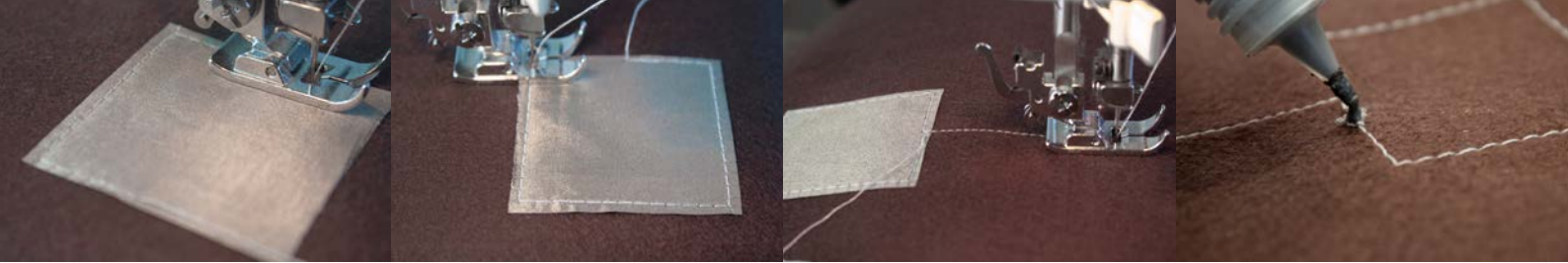
Zum Kleben wird der Textilkleber auf dem leitenden Stoff verteilt (Wattestäbchen oder ein Schwamm können hierbei hilfreich sein) und an der erwünschten Stelle auf dem Untergrundstoff platziert und festgedrückt (2-3). Ist der Leim trocken kann weiter gearbeitet werden.

Es kann mit normalem, oder auch leitendem Garn genäht werden. Vernäht man die leitende Fläche mit leitendem Garn, so kann die anschließende elektrische Verbindungsnaht in einem Rutsch mitgenäht werden. Hier wird beispielsweise ein enger Zick-zack-Stich benutzt um die Ränder des leitenden Stoffes vor mechanischen Einflüssen und potentiell dem Ausfransen zu schützen. Es wird von der geplanten Verbindungsstelle aus rund um die Sensorfläche genäht (4-7). So kann anschließend in einem Zug mit der selben ununterbrochenen Naht (nun aber mit Stepstichen) die elektrische Verbindung zu der Elektronik hergestellt werden. (8)

Nähen: offen

25

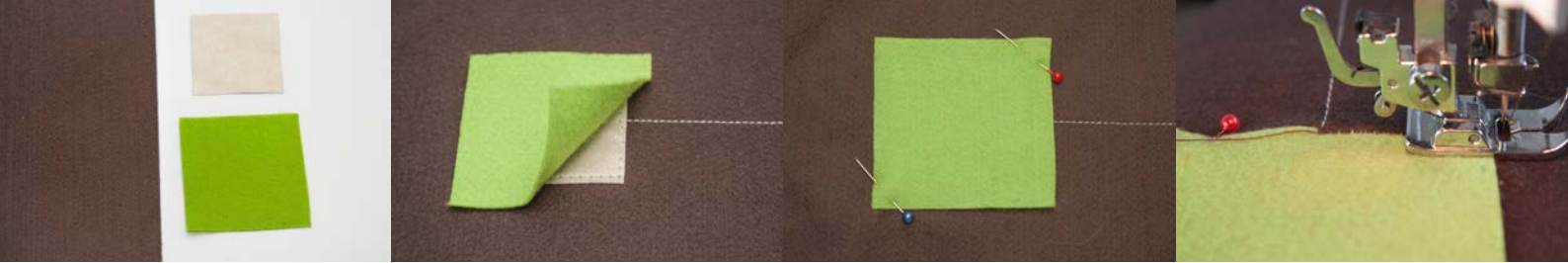




Alternativ kann man auch mit Steppstichen schnell und mit wenig Garn die Textilfläche zuverlässig fixieren. Die Ränder sind hier dann von der geringeren Garnmasse flacher und weniger steif, leider aber auch nicht geschützt. Möchte man die Sensorflächen aber sowieso unter anderen Textilien schützen oder verstecken, ist dies vernachlässigbar.

Nach dem Nähen alle Fadenenden auf die Hinterseite des Stoffes ziehen, verknoten, kürzen und mit Sockenstop absichern (4).





In manchen Fällen ist es erwünscht die leitenden Flächen zu schützen. So kann der leitende Stoff beispielsweise ästhetisch nicht in das Konzept passen, oder das Risiko eines Kurzschlusses soll wegen potentielltem Kontakt mit anderen leitenden Elementen ausgeschlossen werden.

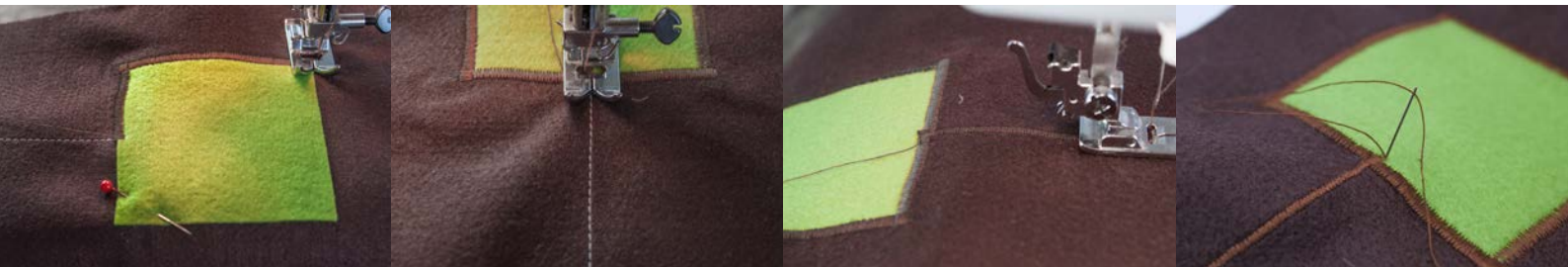
Nähen: geschützt

In diesem Beispiel wird zu der leitenden Sensorfläche noch eine etwas größere schützende Fläche aus dem erwünschten Stoff geschnitten (1). Diese wird mittig über die Sensorfläche plaziert und kann mithilfe von Sicherheitsnadeln vorläufig fixiert werden. Nun wird mit üblichem, nicht-leitendem Garn die Schutzfläche angenäht.

27

Auch die elektrische Verbindungsnaht kann mit einem engen Zick-zack-Stich geschützt werden.

Überstehende Fadenenden können mit einer Nadel auf die Rückseite des Stoffes gezogen werden (8) und wenn nötig dort noch fixiert werden (Kleber, Sockenstopp etc.)







Filzen





Eine Sensorfläche kann einfach mit leitender Filzwolle aufgefilzt werden. Man kann auf vorgefertigte Filzobjekte, Strick- und Häkelobjekte, Filzstoff oder auch andere Stoffe auffilzen. Bei empfindlichen Stoffen ist es ratsam, die Technik an einem kleinen Stück vorerst auszuprobieren.

Der Filzstoff wird auf die Unterlage gelegt und die leitende Filzwolle auf die gewünschten Stellen vorsichtig aufgelegt (1). Nun fängt man an mit der Filznadel durch die Wolle und in den Stoff hinein zu stechen, und arbeitet sich voran. (2-3) Sollte die Schicht zu dünn sein, kann jederzeit noch weitere Wolle aufgetragen und eingearbeitet werden, doch sollte man bedenken, wie viel Bearbeitung man dem Stoff zumuten kann.

Überstehende Fasern können über die Bearbeitungsfläche gestrichen und mit der Filznadeln eingearbeitet werden.(6)

Der Fantasie kann hier freier Lauf gelassen werden: Die Form kann beliebig gestaltet werden (solange sie zusammenhängend ist) und auch bunte Filzwolle kann zum Einsatz kommen. Die Sensoreigenschaften variieren hierbei mit der Form, der Größe etc.. Dort wo die leitende Fläche mit nicht-leitender Filzwolle bedeckt ist, reagiert der Sensor träger als dort wo die leitende Wolle freigelegt ist.

Auffilzen

31







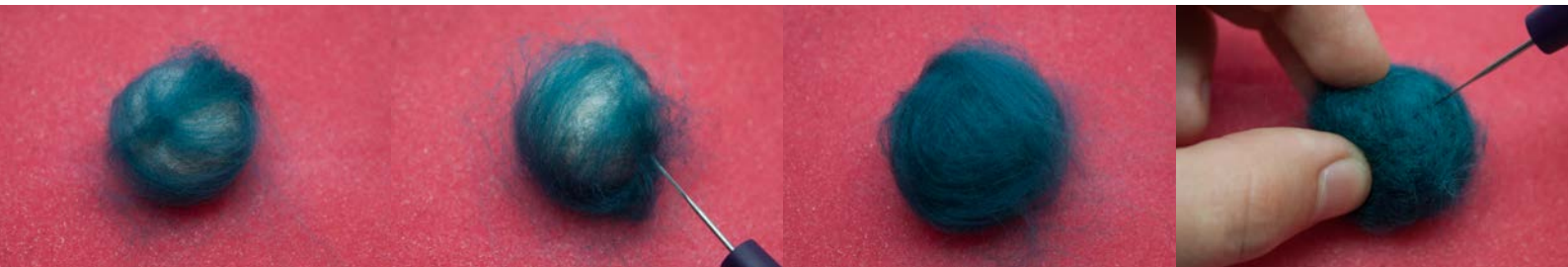
Als Beispiel einer dreidimensionalen Grundform wird hier ein Ball genommen. Erst wird eine Strähne Wolle (in diesem Fall leitende) in sich selbst verknotet und bildet die Mitte des Balles (1). Die überstehenden Fasern werden vorsichtig um den Knoten gelegt (2). Nun wird mit der Filznadel eingestochen und die Fasern langsam miteinander verfilzt bis der Ball sich stabil anfühlt. Ist er einem noch zu klein, so kann man auch nachträglich weitere Wolle auftragen und einfilzen.

Nun kommen wir zur schützenden Schicht. Die Wolle wird um den Ball gelegt (5) und mit der Filznadel eingefilzt (6). Je tiefer gestochen wird, desto tiefer dringen die Fasern ein. In diesem Fall sollte also oberflächlich gestochen werden. Auch hier können nach Wunsch mehr Fasern aufgelegt und eingearbeitet werden (7-8).

Gefilzt wird, bis das Ergebnis einem fest genug ist. Soll der Sensor besonders als Drucksensor fungieren, sollte er weicher sein, für einen reinen Berührungssensor kann er sehr fest gefilzt werden.

Für die anderen Ballarten (siehe Anpassungen) wird einfach die entsprechende Wolle für den Kern benutzt (leitend / nicht-leitend) und mit entsprechender Wolle(n) die erwünschte(n) Umhüllung(en) angefilzt.

Formfilzen



Anpassungen

Man kann die leitende Partie unterschiedlich in die Form integrieren. Der jeweilige Aufbau bringt seine Vor- und Nachteile.



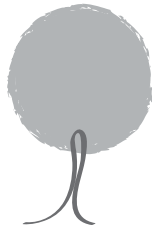
Vorteile:

Nachteile:

Volleitend

Zuverlässige Berührungserkennung:
Gut als Schalter

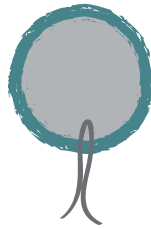
Benötigt viel leitendes Material
Schlecht für lineare Werte
Auf Farbe leitender Wolle beschränkt



Volleitend & geschützt

Guter Druck & Quetschsensor
Gibt gute lineare Werte aus
Beliebige Farbwahl

Benötigt viel leitendes Material



Leitend umhüllt

Zuverlässige Berührungserkennung:
Gut als Schalter
Benötigt wenig leitendes Material

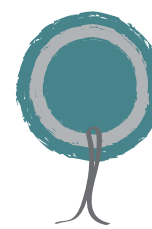
Schlecht für lineare Werte
Auf Farbe leitender Wolle beschränkt



Leitend umhüllt & geschützt

Gibt gute lineare Werte aus
Benötigt wenig leitendes Material
Beliebige Farbwahl

Mittelmäßiger Druck & Quetschsensor



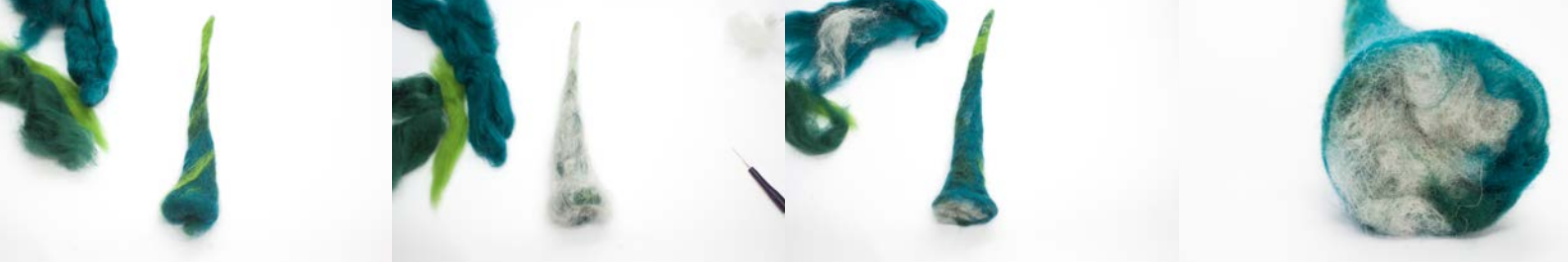
Filzwolle



leitende
Filzwolle



leitendes Garn für
die Verbindung



Variationen

Die Filztechnik ist sehr flexibel und ermöglicht es auch ohne viel Übung fast jede erwünschte Form herzustellen. Der Fantasie sind hier keine Grenzen gesetzt.

Dieser Filzzipfel beispielsweise hat einen Kern aus normaler Filzwolle. Darüber befindet sich eine Schicht leitender Wolle, die wiederum von einer Schicht normaler bunter Wolle geschützt ist. Auf der Unterseite wurde die leitende Filzschicht freigelassen um dieser flexibel mit der Elektronik verbinden zu können.









Stricken





Beim Stricken wird einfach dort wo die Sensorfläche sein soll das übliche Strickgarn mit dem leitenden Garn zusammen gestrickt. In diesem Beispiel wird eine Strickfläche als vollflächiger Sensor angefertigt.

Nicht vergessen genug Anfangsgarn übrig zu lassen, um schlussendlich das Stück zu verbinden. Erst werden die Maschen angeschlagen (1) (Schlägt man auf 2 Nadeln an, sind die Anschlagsmaschen nicht so eng), und anschließend die Reihen je nach Wunschergebnis weitergestrickt. (2) Ist man mit dem Ergebnis zufrieden (3) kann das Strickstück abgekettet werden (4-5). Der Endfaden wird durch die letzte Masche gezogen und wie am Anfang mit genügend Länge abgeschnitten.

Der Anfangs und Endfaden der normalen Strickwolle kann im Strickstück vernäht werden. Das leitende Garn kann direkt mit der Elektronik verbunden werden oder durch das Strickstück an die Wunschposition gezogen und anschließend verbunden werden.

Sensor stricken

41







Hier wird eine Rechteckige Sensorfläche innerhalb eines größeren Rechteckigen Strickstücks integriert.

Man beginnt mit seinem Strickstück wie erwünscht. (1) Erreicht man den Punkt, an dem die Sensorfläche beginnen soll, nimmt man das leitende Garn beim Stricken dazu (2) Nicht vergessen genug Anfangsgarn übrig zu lassen, um schlussendlich die Sensorfläche mit der Elektronik zu verbinden. Dort wo die Sensorfläche in der Breite aufhören soll, wird das leitende Garn wieder weggenommen, nach hinten gelegt und nur mit der normaler Wolle die Reihe zu Ende gestrickt. (3) Nach dem Wenden strickt man weiter, bis man wieder an das leitende Garn kommt, dass in Schritt 3 weggelegt wurde (4) Es wird wieder aufgenommen (5), bis wieder die erwünschte Breite erreicht etc. Diese Punkte werden wiederholt, bis die erwünschte Sensorflächengröße erreicht ist (6). Dann kann das Strickstück wie gewünscht fertiggestrickt und abgekettet werden.

Sensor einstricken

43



Variationen & Anpassungen

Stricken ermöglicht es auf eine weite Vielfalt an Oberflächen und Texturen zurückgreifen zu können. Es sind über die Zeit viele verschiedene Strickmuster entstanden, und mit der Auswahl an Wollgar-
nen ergeben sich fast unendlich viele verschiedene Möglichkeiten.

Hier beispielsweise wurde mit Schlingenmaschen ein Teppich-ähnlicher Eindruck erreicht.



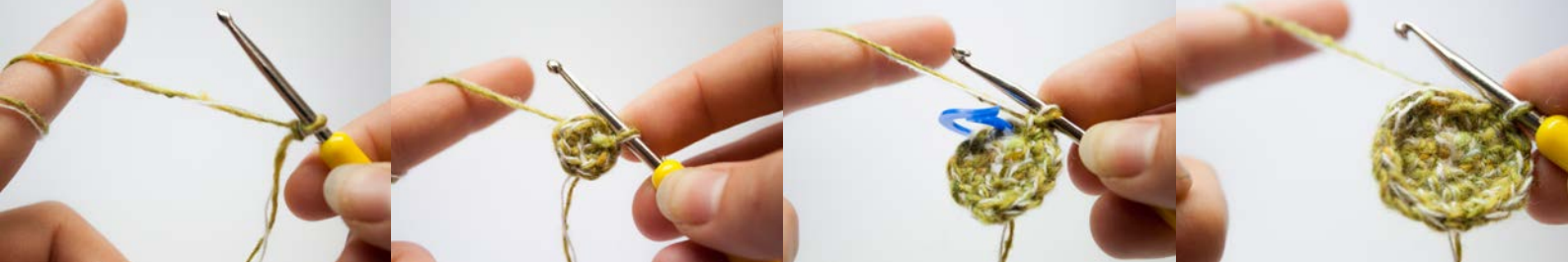






Häkeln





In diesem Beispiel zeigen wir den Häkelprozess eines leitenden flachen Kreises. Es wird einfach die normale Strickwolle mit dem leitenden Garn zusammen verhäkelt. Erst wird mit einem Fadenring begonnen (Bilder 1-2). Es ist hier ratsam, zu Beginn des Stückes genug leitendes Garn über zu lassen, damit dieses am Ende vernäht und elektrisch verbunden werden kann. Anschließend wird in Runden gehäkelt, bis die erwünschte Größe erreicht ist (3-4). Mit einem Maschenmarkierer kann der Anfang jeder Runde markiert werden. Schlussendlich wird eine großzügige Länge der Wolle/Garn aus der letzten Masche gezogen und abgeschnitten(5-6).

Kreis häkeln

Je nachdem wie das Objekt befestigt werden soll, können nun der Anfangs- und der Endfaden mit der Häkelnadel oder einer Stopfnadel vernäht /verwoben werden (7-8). Das leitende Garn kann zu einer Position geführt werden, an der es gut elektrisch verbunden werden kann. Die nicht-leitende Wolle kann auch alternativ anders "verlegt" werden. So kann es hier am Rand gelassen werden, um den Kreis rund herum auf eine Fläche aufzunähen, oder in die Mitte gezogen werden, um den Kreis punktuell in der Mitte zu befestigen.





Variationen & Anpassungen

Auch hier ist die Sensibilität des Sensors von vielen Faktoren abhängig: Die Art des leitenden Garns und der nicht-leitenden Wolle, die eingesetzten Maschenarten, die Häkeldichte etc. Es lohnt sich einige Versuche mit dem vorhandenen Material zu machen.

Für eine Erhöhung der Sensibilität kann unter Anderem mehr leitendes Garn benutzt werden. Auf dem Bild sind beispielsweise zwei Variationen aus Baumwollgarn: Oben rechts mit einem Faden mit-verhäkeltem leitenden Garns, unten rechts mit 2 verhäkelten Fäden leitenden Garns.). Es kann auch ein engeres Maschenbild gehäkelt (Beispielsweise feste Maschen anstatt von Stäbchen) oder die Größe / Oberfläche des Sensors erhöht werden.

Verschiedene Texturen und Oberflächen können durch den Einsatz verschiedener Garne und Maschenarten erlangt werden. Man kann auch mit Filzwolle häkeln und anschließend das Objekt per Hand, oder auch einfach in der Waschmaschine verfilzen. Dadurch erlangt man eine festere gleichmäßigere Oberfläche. Auf dem Bild sind auf der linken Seite mit Filzstrickwolle gehäkelte Sensoren, einmal vor und nach dem Filzvorgang, der auf den nächsten Seiten beschrieben wird.





Für das händische Verfilzen des mit Filzstrickwolle gehäkelt oder gestrickten Objektes gehen wir folgendermaßen vor:

Erst lässt man heißes Wasser über das Filzobjekt fließen (1) bis es ganz nass ist und seift sich dann ordentlich die Hände ein(2). Nun kann das Objekt zuerst sanft in den Händen gerieben und verfilzt werden(3. Je härter das Objekt wird, desto mehr Druck kann ausgeübt werden.

Ist man mit dem Ergebnis zufrieden, so wird das Ganze gut ausgewaschen (3). Hier gründlich vorgehen, damit keine Seifenreste im Filzobjekt übrig bleiben.

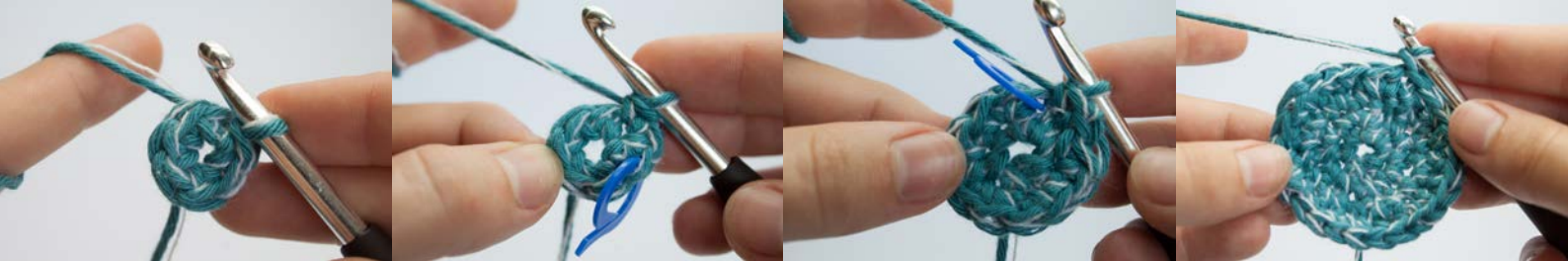
Nass verfilzen

53

Durch den Filzprozess entsteht eine gleichmäßigere Oberfläche und ein generell festeres Objekt, doch schrumpft es auch etwas in seiner Größe. Je nach Material und Intensität des Filzprozesses kann es dadurch bis auf 2/3 seiner ursprünglichen Größe schrumpfen. In den unteren Bildern ist das selbe Häkelstück vor und nach dem Filzprozess zu sehen.





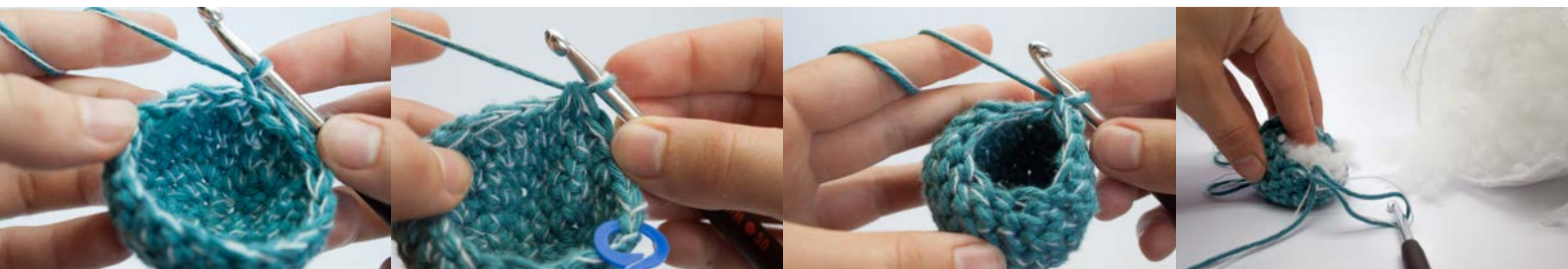


Der Häkelball funktioniert auf ähnliche Weise wie der Kreis. Erst wird ein Fadenring mit 6 festen Maschen gehäkelt (1). Nun werden bei der nächsten Runde alle Maschen gedoppelt (2-3). Um nicht den Überblick zu verlieren kann ein Maschenmarkierer benutzt werden. In der folgenden Runde wird jede zweite Masche gedoppelt, in der folgenden jede dritte usw. Ist der erwünschte Durchmesser des Balles erreicht (4) werden nun normale reihen gehäkelt, also eine Masche in jede vorherige Masche. Es werden so viele normale Reihen gehäkelt, wie bis jetzt überhaupt an Reihen gehäkelt wurden (5).

Anschließend werden wieder Maschen abgenommen: Umgekehrt zu den Zunahmen in der ersten Phase, wird nun in jeder Reihe entsprechend abgenommen. (6-7) Also hier wird erst jede dritte Masche mit der vierten zusammengehäkelt, in der folgenden Reihe jede zweite mit der dritten und schließlich jede Masche mit ihrer nächsten.

Bevor die Öffnung des Balles zu klein wird, muss dieser gefüllt werden. Hier wird beispielsweise Perlenfaser aus Polyester benutzt (8).

Ball häkeln





Der Ball wird mit der Füllung fertiggestellt. Nach der letzten Maschenreihe wird das restliche Garn abgeschnitten, durch die letzten Maschen gezogen und festgezogen (3).

Je nach Einsatz soll vielleicht das Garn nur aus einer Seite des Balles ragen. Im weiteren Verlauf wird dieser Ball beispielsweise an Stoff festgenäht werden (8) Die unerwünschten Enden können also in diesem Fall gekürzt und in dem Ball vernäht werden (5-6). Übrig bleiben die Garne auf der anderen Seite des Balles, mit denen man anschließend den Ball testen (7) und anbringen (8) kann.

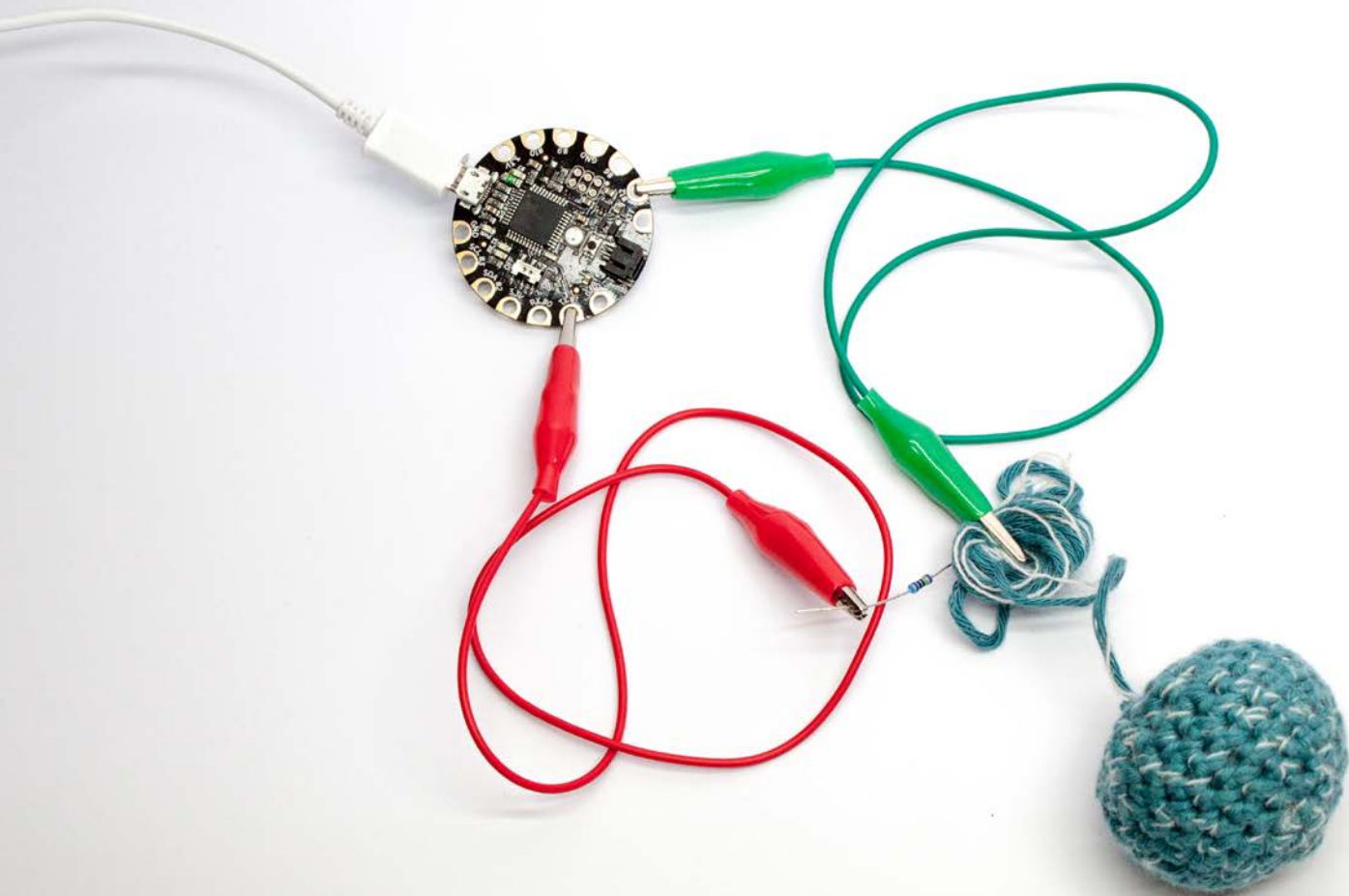




Anstatt den Ball mit leitendem Garn zu häkeln, kann man ihn auch mit leitender Wolle füllen. Man kann auch beides kombinieren. Auf diese Weise ist außen kein leitendes Garn sichtbar, und die Sensoreigenschaften variieren in ähnlicher Weise wie bei den unterschiedlichen Filzbällen (siehe Seite 34).

Es wird einfach ein Stück leitendes Garn um die leitende Wolle geschnürt, bevor diese in den Ball gesteckt wird. Nicht vergessen, die Enden des leitenden Garns aus dem Ball ragen zu lassen, um diese später zu verbinden.

Variationen & Anpassungen



Einrichten & Testen



adafruit
FLORA



Microcontroller Setup

Damit die Sensoren nun Berührung erkennen können, müssen sie an einen Microcontroller geschlossen werden. In den folgenden Beispielen wird der textilgeeignete Adafruit Flora Microcontroller eingesetzt. Die Verbindungen können genäht werden und wenn nötig kann sogar der Microcontroller samt Sensor gewaschen werden. Vorerst muss der Flora eingerichtet werden. Die benötigten Programme und Libraries können kostenfrei heruntergeladen werden:

Arduino IDE

Hiermit kann der Microcontroller vom Computer aus programmiert und die Sensorwerte getestet werden.

Adafruit Treiber

Werden für die Nutzung des Microcontrollers benötigt. Eine volle und klare Anleitung lässt sich direkt bei Adafruit finden. Alternativ bei einem anderen Modell die entsprechenden Treiber installieren.

Capacitive Sensing Library

Damit der Microcontroller zusammen mit der Sensorfläche als kapazitiver Sensor fungieren kann wird noch diese Library von Paul Badger benötigt.

(Neopixel Library)

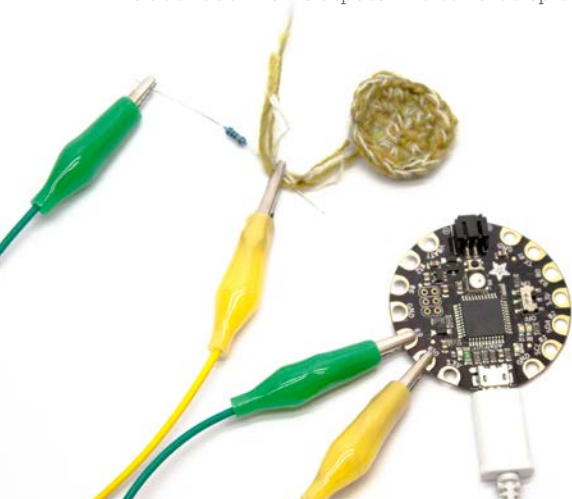
Für die eventuelle Nutzung der integrierten LED als Testoutput kann auch die „Neopixel“ Library installiert werden.

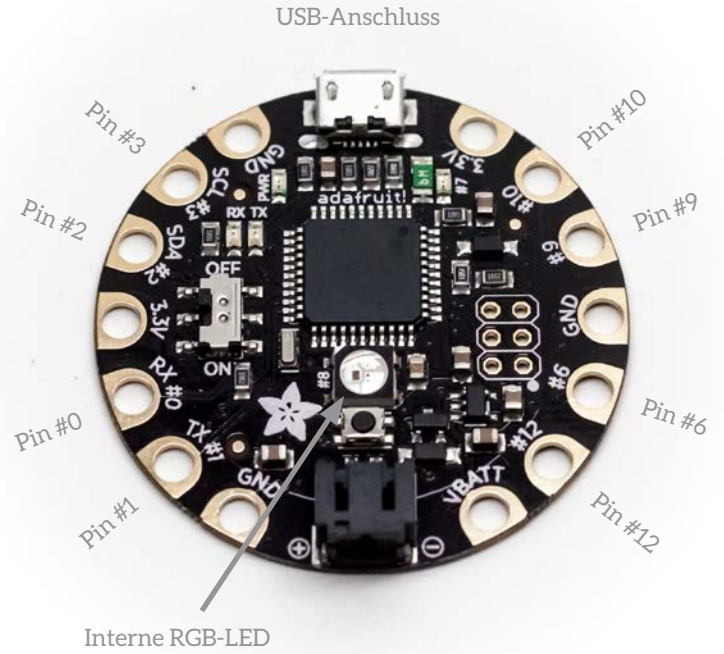
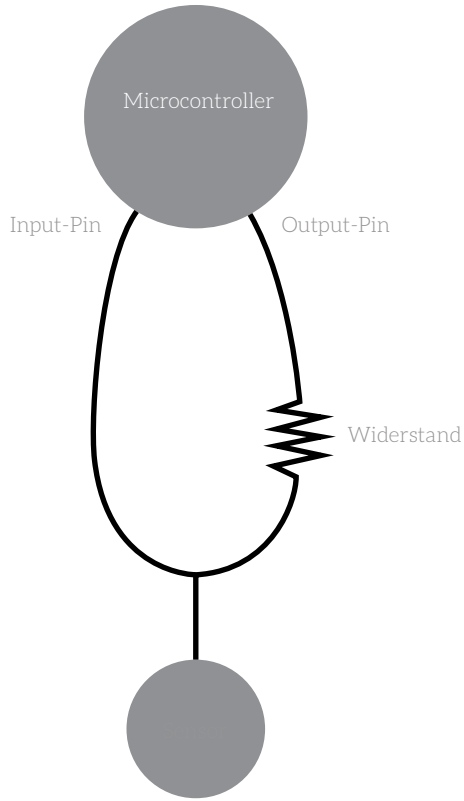
Generelle Hardware- verbindung

Um aus einer leitenden Fläche einen Sensor zu machen muss diese entsprechend verkabelt / vernäht werden. Es werden zwei digitale Sensorpins für eine Sensorfläche benötigt: eine Output-Pin, sowie ein Input-Pin.

Die Verbindungen können erst provisorisch mit Krokodilklemmen gemacht werden. So kann auch erst der passende Widerstand für den Sensor ermittelt werden. Später können die Verbindungen zum Beispiel genäht werden.

Da der Flora Microcontroller 8 digitale Pins zur Verfügung hat, können theoretisch 4 verschiedene kapazitive Sensoren angebracht werden. Je nachdem wie der Sensor genutzt werden soll, werden die Pins aber auch für Outputs wie etwa beispielsweise LEDs oder einen kleinen Motor gebraucht.







Manche Sensoren lassen sich mithilfe von Krokodilklemmen schlecht testen: Der Kontakt mit einem Garn ist instabil, die Klemme würde das Objekt zu hart beschädigen, die Testergebnisse variieren, da die Krokodilklemmverbindung beispielsweise eine größere Verbindungsoberfläche am Sensor bietet, als es das Garn würde usw. ...

Um für Prototypen eine stabile Testumgebung bieten zu können, kann man beispielsweise wie hier folgend vorgehen:

Mithilfe leitenden Stoffes und Textilkleber wird eine Kontaktfläche für die Krokodilklemmen am Rande des Stoffes fixiert (1-3). Nun wird die Verbindung zwischen der Kontaktfläche und der Sensorfläche genäht (händisch oder mit Nähmaschine). Um die Verbindung zur Kontaktfläche zu gewährleisten und die Naht zu sichern wird erst am Rand des leitenden Stoffes hin- und hergenäht, anschließend wird zur Sensorfläche genäht und dort angekommen durch ein Paar Vor- und Rückstiche die Naht wieder gesichert. In einem Fall wie dieser aufgefützten Sensorfläche kann man einfach leicht in den Sensor hineinnähen (5).

Flexible Prototyp- verbindung

63





Verbindung Sensor zu Naht

Bei manchen Sensoren kann man aber nicht einfach mit der Nähmaschine in den Sensor hinein-nähen, sondern muss die genähte Verbindungsbahn mit dem Garn des Sensors verbinden. Eine kleine Fläche leitenden Stoffes auf der Rückseite hilft dann, einen zuverlässigen Kontakt herzustellen.

In diesem Beispiel ist auf der Vorderseite des Stoffes ein gehäkelter Sensor mit einem Rest leitenden Endfaden, der gut mit einer Naht leitenden Garnes verbunden werden soll. Wir sehen hier die Rück-seite.

An der Verbindungsstelle wird ein Stück leitenden Stoffes positioniert. Nun wird der Endfaden der Verbindungsnaht, sowie der Endfaden des Sensors ein paar Mal durch den leitenden Stoff und den Sensor auf der Vorderseite vernäht und schlussendlich miteinander verknötet (3). Die überstehenden Fäden werden abgeschnitten und können zB. mit Sockenstop gesichert werden.

Der leitende Stoff "umhüllt" nun jeden Faden, der hindurchgeht und schafft somit eine zuverlässige Verbindung zwischen den verschiedenen Garnen die ihn durchstechen.

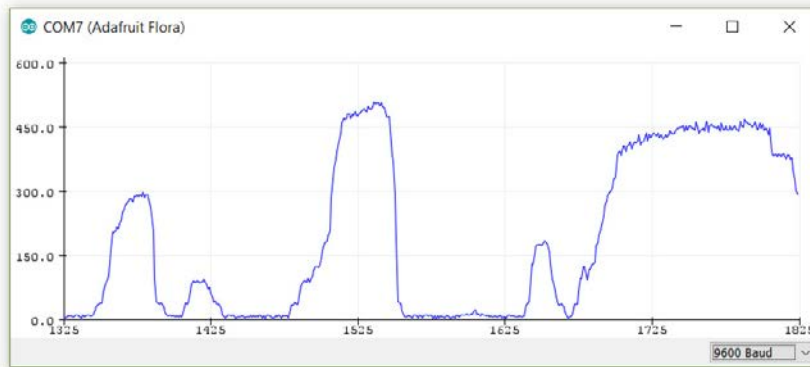
Sensorwerte ablesen

Um die Werte des Sensors lesen zu können muss der Microcontroller per USB mit dem Computer verbunden sein. Ist der Grundcode (rechts) auf den Microcontroller hochgeladen, können die Sensorwerte im seriellen Monitor gelesen werden (Werkzeuge > Serieller Monitor). Für eine visuelle Anzeige bietet sich der serielle Plotter als Alternative (Werkzeuge > Serieller Plotter). Nun können die Werte bei verschiedenen Interaktionen abgelesen werden (annähern, berühren, greifen, quetschen etc.).

Sind die Werte sehr niedrig und reagiert der Sensor erst nach Druck, so ist der Widerstand zu klein gewählt. Soll der Sensor schon auf Nähe reagieren, so muss ein hoher Widerstand gewählt werden. Gibt der Sensor nur extrem langsam Werte aus und reagiert zeitverzögert, so ist der Widerstand zu hoch gewählt.

Ist ein passender Widerstand ausgesucht und gibt der Sensor die gewünschte Bandbreite an Werten, so können diese weiter benutzt werden: Sie können die Werte für eine reine binäre Schaltung benutzt werden wie etwa beispielsweise LEDs an- oder ausschalten, Fernseher Stummschalten, Lautsprecher aktivieren etc. Sie können auch für graduelle Aktionen genutzt werden wie etwa die Helligkeit einer Lampe, die Lautstärke eines Lautsprechers oder den Farbton einer LED zu ändern.

66



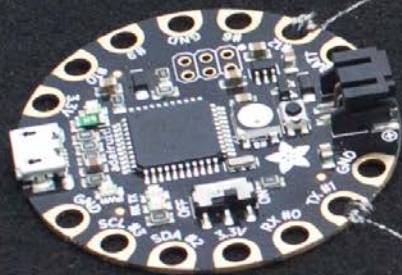
Im Folgenden ist das Beispiel eines streng reduzierten C++ Programmiercodes, mit dem der Sensor getestet werden kann. Hier wurde der Sensor an die Pins 1 (Output) und 12 (Input) des Microcontrollers angeschlossen. Der Wert "total" gibt die Sensorwerte wieder und kann für weitere Programmierung genutzt werden.

Grundcode

```
#include <CapacitiveSensor.h>
CapacitiveSensor cs_1_12 = CapacitiveSensor(1,12);

void setup(){
    cs_1_12.set_CS_Autocal_Millis(0xFFFFFFFF);
    Serial.begin(9600);
}

void loop(){
    long total = cs_1_12 .capacitiveSensor(30);
    Serial.println(total);
    delay(10);
}
```





Beispiel



Auf den folgenden Seite wird die Anbringung und Verbindung eines Sensors Schritt für Schritt dargestellt. Ein mit leitendem Garn gehäkelter Ball wird hier als Beispielelektrode benutzt.

Zum Schluss werden noch zwei Code-Varianten gezeigt, mit denen man anhand des Sensors die integrierte RGB-LED des Flora-Microcontrollers steuern kann.



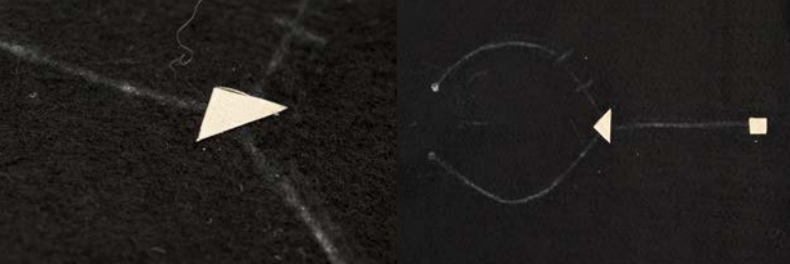
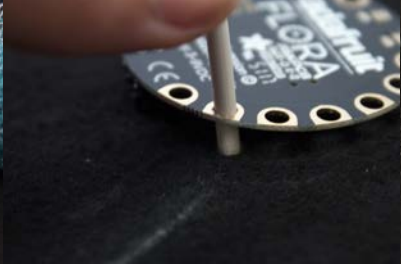
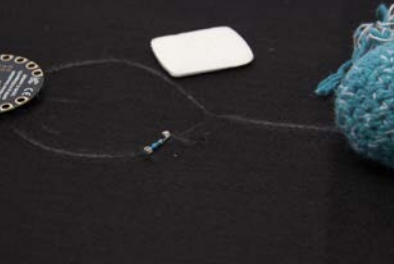
Um einen Widerstand zu vernähen muss dieser erst vorbereitet werden.

Mithilfe einer Rundzange werden die Anschlussdrähte des Widerstandes zu Ösen gedreht. Man beginnt am äußersten Rand und dreht den Draht Stück für Stück in seine runde Form.

Nun kann der Widerstand einfach mit leitendem Garn durch die Ösen vernäht werden. Anhand dieser Technik werden auch beispielsweise LEDs annäherbar.

Widerstand vorbereiten



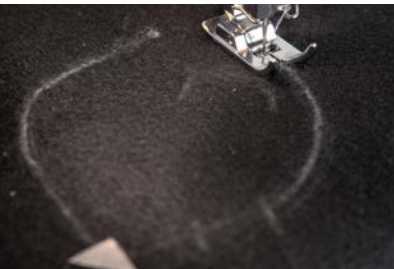


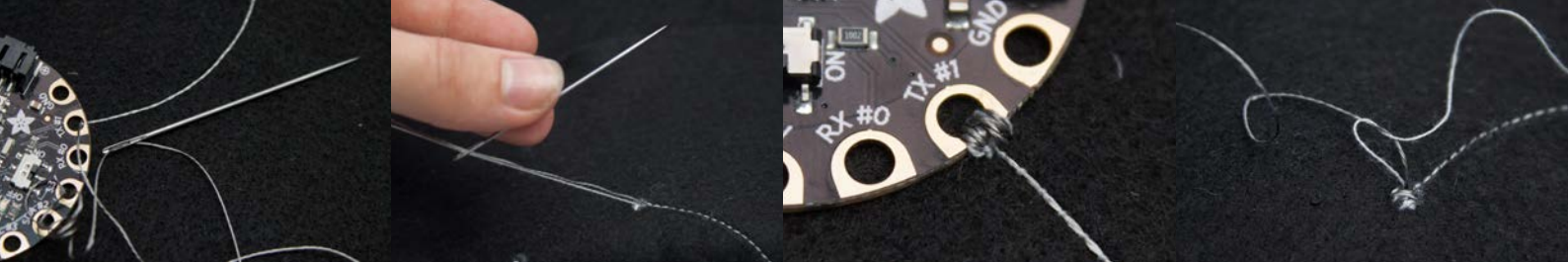
Planung & Verbindungsnähte

Erst werden der Aufbau und die Verbindungen geplant. Man kann den Aufbau erst auf Papier, und anschließend mit Schneiderkreide auf der Rückseite des Stoffes aufzeichnen (1) (Vorsicht: Spiegelverkehrt!). Mithilfe einer Mine können auch die Positionen der Microcontroller-Verbindungsstellen genau auf den Stoff übertragen werden (2). An Stellen wo mehrere Garne aufeinandertreffen werden, werden schon einmal kleine Flächen leitenden Stoffes für eine sichere elektrische Verbindung geklebt (3).

72

Nun kann mit dem Nähen begonnen werden. (4-6) An jedem Nahtanfang und Ende wird ausreichend leitendes Garn über gelassen, um die jeweiligen Komponenten dann händisch anzunähen. Die Nähte müssen nicht zwangsweise durch Vor- und Rückstiche gesichert werden, da das Sichern dann beim Annähen der Bestandteile geschieht.



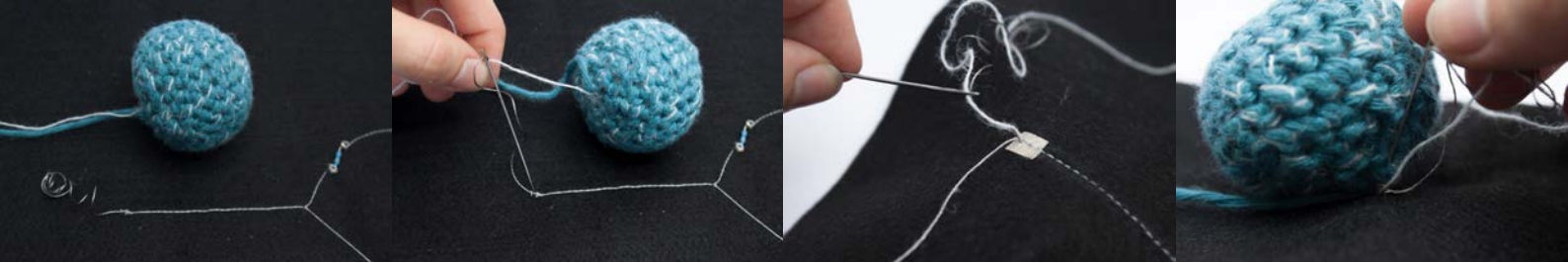


Die verschiedenen Komponenten können nun in beliebiger Reihenfolge angenäht werden. Fangen wir hier beispielsweise mit dem Microcontroller an. Das Garnende, welches an der Oberseite beim Controller ist, wird in eine Nadel eingefädelt, durch die entsprechende Controllerpin-Öse gezogen (Hier Pin #1) und außen wieder in den Stoff eingestochen (1). Auf der Rückseite nehmen wir das zweite Garnende dazu (2) und fahren nun mit dem Umnähen der Öse fort. Nach mehreren Stichen sollte die Verbindung fest genug sein (3). Auf der Rückseite des Stoffes wird nun erst ein Garn aus der Nadel genommen und dann nochmals hin und her gestochen. Nun können beide Garnenden verknotet (4) werden.

Annähen der Elektronik

Auf diese Weise wird nun auch der zweite Pin des Controllers (5), sowie der Widerstand (6-8) befestigt.





Annähen des Sensor

Jetzt fehlt nur noch die Verbindung zum Sensor. In diesem Fall wird ein Häkelball als Beispiel genommen. Erst wird die elektrische Verbindung sichergestellt, anschließend wird der Ball mit seinem Endstück normaler Strickwolle noch befestigt, um die Belastung auf das leitende Garn zu reduzieren.

Erst wird das Endgarn des Balles mit dem Endgarn, welches an der Oberseite des Stoffes von der Verbindungsnaht über ist, in eine Nadel eingefädelt (2). Hiermit wird nun der Ball fest an den Stoff angenäht. Möglichst darauf achten, immer durch das Stückchen leitenden Stoffes zu stechen. (3) Am Besten wird auch etwas durch den Ball gestochen (4). Nach mehreren Stichen können die Garne auf der Rückseite verknötet werden (5).

Mit dem Endstück der normalen Strickwolle wird nun der Ball noch etwas solider befestigt (6-7). Hierbei sollte eher vermieden werden, durch das Stück leitenden Stoffes zu stechen.



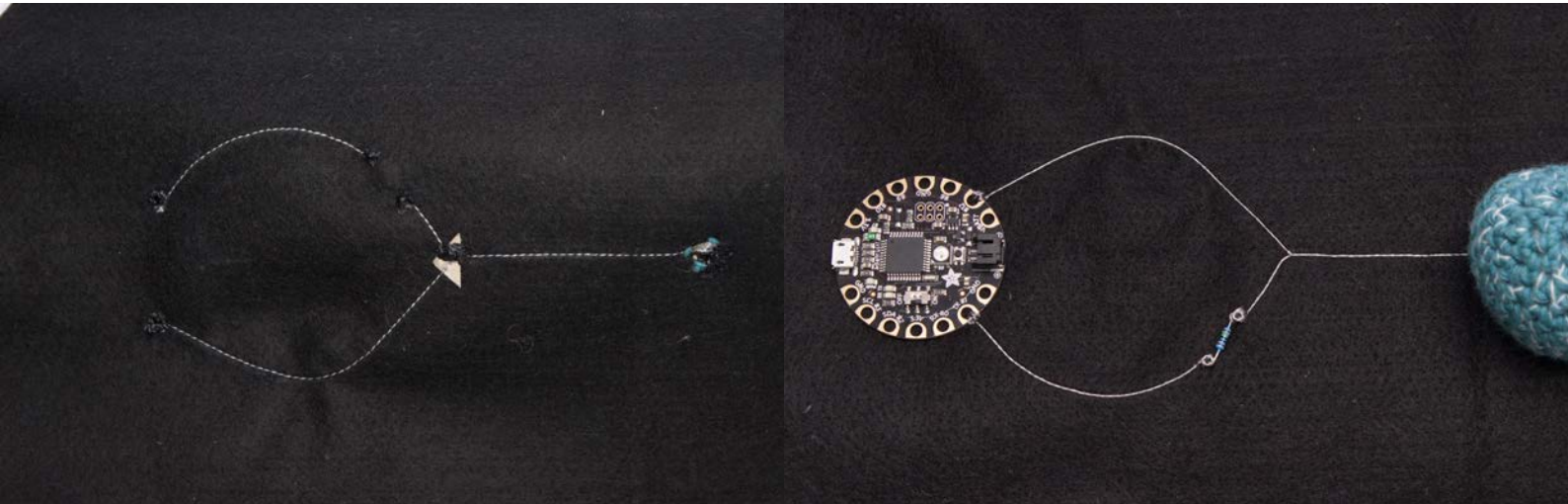


Schlussendlich können nun alle Fäden gekürzt (1) und vorsichtshalber gesichert werden (2).

In den unteren Bilder sind die fertigen Nähte von der Unter- und der Oberseite zu sehen.

Versäubern der Nähte

75





Diese Variante des Codes beeinflusst die integrierte LED auf dem Microcontroller. Übertritt der Sensorwert "total" den Schwellenwert (hier 40), so leuchtet die LED weiß. Der Schwellenwert kann anhand des seriellen Monitors ermittelt werden. Je nachdem ob der Sensor schon bei Nähe, Berührung oder Quetschung reagieren soll, wird ein entsprechender Wert genommen.

Code: Binäre Schwelle

```
#include <CapacitiveSensor.h>
#include <Adafruit_NeoPixel.h>
CapacitiveSensor cs_1_12 = CapacitiveSensor(1,12);
Adafruit_NeoPixel strip = Adafruit_NeoPixel(1, 8);

int schwellenwert = 40;

void setup(){
  cs_1_12.set_CS_Autocal_Millis(0xFFFFFFFF);
  Serial.begin(9600);
  strip.begin();
  strip.show();
}
```

```
void loop(){
  long total = cs_1_12.capacitiveSensor(30);
  Serial.println(total);

  if (total > schwellenwert){
    strip.setPixelColor(0,65,65,65);
  }
  else{
    strip.setPixelColor(0,5,5,5);
  }
  strip.show();
  delay(10);
}
```



In dieser Variante werden die Sensordaten für eine relative und graduelle Zustandsänderung genutzt: Je intensiver der Sensor berührt wird, desto höher steigt der "total" Sensorwert, und desto stärker leuchtet die LED rot. Der benötigte Minimalwert "minwert" und der Maximalwert "maxwert" können anhand des Seriellen Monitors ermittelt werden.

Code: Analoges Mapping

```
#include <CapacitiveSensor.h>
#include <Adafruit_NeoPixel.h>
CapacitiveSensor cs_1_12 = CapacitiveSensor(1,12);
Adafruit_NeoPixel strip = Adafruit_NeoPixel(1, 8);
int constrained_input;
int farbe;

int minwert = 20;
int maxwert = 300;

void setup(){
  cs_1_12.set_CS_Autocal_Millis(0xFFFFFFFF);
  Serial.begin(9600);
  strip.begin();
  strip.show();
}
```

```
void loop(){
  long total = cs_1_12.capacitiveSensor(30);
  Serial.println(total);

  constrained_input = constrain(total, minwert, maxwert);
  farbe = map(constrained_input, minwert, maxwert, 0, 65);
  strip.setPixelColor(0, farbe, 0, 0);
  strip.show();
  delay(10);
}
```

Ausblick

Es wurden mehrere Methoden und Varianten für die Erstellung textiler kapazitiver Berührungssensoren vorgestellt. Hierbei wurden verschiedene traditionelle Textilverarbeitungsmethoden benutzt, doch gibt es noch weitere die es sich lohnen erprobt zu werden. So könnte man auch Berührungssensoren Knüpfen, Handweben, Nassfilzen oder auch Sticken.

Es ist unmöglich, die vollständige Vielfalt an Möglichkeiten zu zeigen, doch hoffe ich, es konnten hier Ideen und Inspiration für eigene Projekte geboten werden. Unglaubliche Mengen an Materialien, Formen und Farben stehen für weitere Experimente zur Verfügung.

Durch die Flexibilität der Textilverarbeitung und die große Gestaltungsfreiheit, lassen sich die Sensoren vollständig an den spezifischen Einsatz anpassen. Der Kreativität kann hier freier Lauf gelassen werden, und so wünsche ich viel Spaß und Erfolg bei der Gestaltung eigener textiler kapazitiver Berührungssensoren.



Quellen

Microcontroller "Flora" von Adafruit:
www.learn.adafruit.com/getting-started-with-flora/overview

Arduino IDE:
www.arduino.cc/en/Main/Software

Capacitive Sensor Library von Paul Badger:
www.playground.arduino.cc/Main/CapacitiveSensor/

Definition für Microcontroller bei Duden:
www.duden.de/suchen/dudenonline/Mikrocontroller

Definition für Library bei Mikrocontroller:
www.mikrocontroller.net/articles/Libraries

Definition Sensor bei folgender Literatur:
Hering, Ekbert; Schönfelder, Gert (2018): Sensoren in Wissenschaft und Technik. Funktionsweise und Einsatzgebiete. 2nd ed. Wiesbaden: Vieweg.

Definition für Kapazität bei Elektrotechnik-Fachwissen:
www.elektrotechnik-fachwissen.de/grundlagen/kapazitaet.php

Arduino Logo:
de.wikipedia.org/wiki/Datei:Arduino_Logo.svg

Adafruit Flora Logo:
learn.adafruit.com/assets/3396

Kobakant: How to get what you want.
www.kobakant.at

Elektronik Kompendium:
www.elektronik-kompendium.de

Capacitive Touch with Conductive Fabric & Flora bei Adafruit
learn.adafruit.com/capacitive-touch-with-conductive-fabric-and-flora/overview

Needle felted capacitive sensing von Lara Grant
lara-grant.com/rd2/capacitive-sensing-2/

Agcayazi, Talha; Chatterjee, Kony; Bozkurt, Alper; Ghosh, Tushar K. (2018): Flexible Interconnects for Electronic Textiles. In: Adv. Mater. Technol. 3 (10), S. 0–32. DOI: 10.1002/admt.201700277.

Dumont, N. (2010): An Overview of Textile Interfaces. Online verfügbar unter <https://pdfs.semanticscholar.org/4335/60b7e0d3c78c65ecedffc777961970fafba8.pdf>.

Hughes-Riley, Theodore; Dias, Tilak; Cork, Colin (2018): A Historical Review of the Development of Electronic Textiles. In: Fibers 6 (2), S. 34. DOI: 10.3390/fib6020034.

Kirstein, Tünde (Hg.) (2013): Multidisciplinary know-how for smart textiles developers. Textile Institute (Manchester, England). Oxford, Philadelphia: Woodhead Pub (Woodhead publishing series in textiles, no. 139).

Lim, Yihyun (2017): Felted Terrain. Interactive Textile Landscape; Transforming the Experience of Knitted Textile with Computation and Soft Electronics. In: Miguel Bruns Alonso und Elif Ozcan (Hg.): Proceedings of the Conference on Design and Semantics of Form and Movement - Sense and Sensitivity, DeSForM 2017: InTech.

Mondal, K. (2018). Recent Advances in Soft E-Textiles. Inventions, 3(2), 23. <https://doi.org/10.3390/inventions3020023>

Schneegass, Stefan; Amft, Oliver (Hg.) (2017): Smart textiles. Fundamentals, design, and interaction. Cham: Springer (Human-computer interaction series)

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit selbstständig angefertigt habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe. Zitate habe ich als solche kenntlich gemacht.

Köln, den 04.07.2019

