

FELT IT

Exploration
dreidimensionaler
biomorpher
gefilzter
kapazitiver
Berührungssensoren

FELT IT

Exploration dreidimensionaler biomorpher gefilterter
kapazitiver Berührungssensoren

Leonie Spachtholz
Bachelor Thesis

Interaction Design
Prof. Dr. Lasse Scherffig

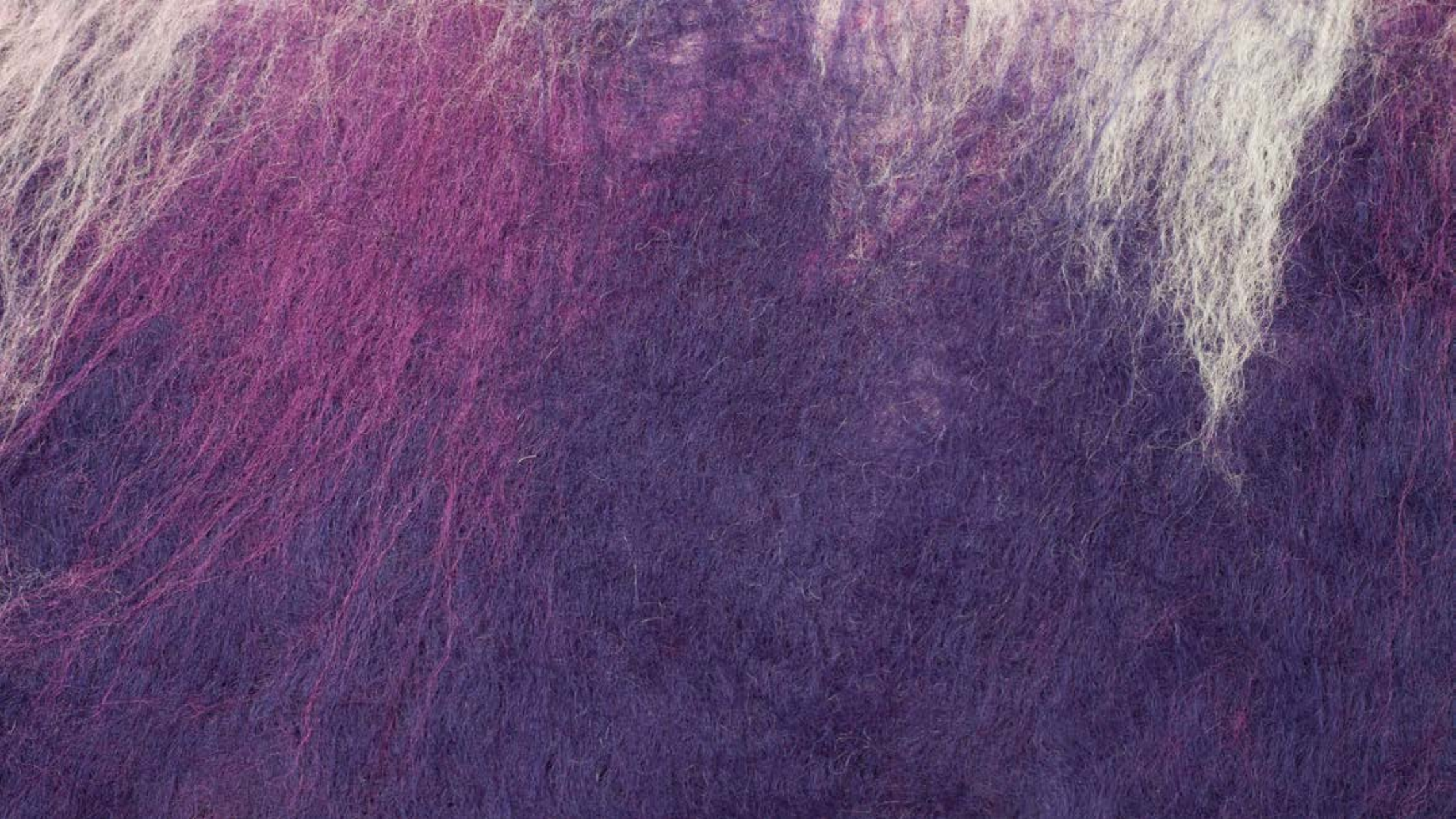
Ökologie und Design
Prof. Müller-Russo

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

Vorgelegt am 30.06.2020

INHALTSVERZEICHNIS

ABSTRACT	5	FINALE OBJEKTE	139
HINWEISE ZU DEN UMSTAENDEN	6	STERNSENSOR	140
DEFINITIONEN	7	BULBUSSENSOR	149
EINLEITUNG	8	ROEHRENSENSOR	157
INSPIRATION BLUETE	11	ERKENNTNISSE	168
WOLLE & FILZ	23	FAZIT	171
EXPLORATIVER PROZESS	26	LITERATURVERZEICHNIS	172
ERSTE EXPLORATIONSPHASE	27	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	174
STERNSENSOR	29	SELBSTSTAENDIGKEITSERKLAERUNG	176
BULBUSSENSOR	58		
ROEHRENSENSOR	94		
CODE & PROGRAMMIERUNG	135		



ABSTRACT

Das Ziel dieser explorativen Studie ist die Entwicklung gefilterter, biomorpher Berührungssensoren für den Menschen.

Der Bereich der E-Textilien entwickelt sich weiter und ermöglicht es Technik immer organischer mit Textilien zu vereinen. Die haptischen Qualitäten der Textilien kommen hier besonders an der Schnittstelle zwischen Mensch und Technik, dem taktilen Interface, zugute. Es lassen sich bereits flache textile Berührungssensoren finden, doch wäre es von Interesse auch den dreidimensionalen Bereich zu explorieren und potenzielle Ideen und Möglichkeiten zu erörtern.

Filz ist eine Art von Textil, welche flexibel dreidimensional geformt werden kann und sich somit für solch einen Prozess gut eignet. Anhand leitender Filzwolle können gefilterte kapazitive Berührungssensoren hergestellt werden.

Im Laufe dieser Exploration sollen also anhand der Technik des Nassfilzens und der kapazitiven Sensorik verschiedene dreidimensionale Sensoren gefiltert werden. Formen, Farben und Sensoreigenschaften sollen erprobt und angepasst werden, um eine möglichst an den Menschen angepasste Interaktion zu ermöglichen, sowohl physiologisch als auch kognitiv.



HINWEISE ZU DEN UMSTAENDEN

Als Inspirationsquelle sollen Blüten dienen, welche sich teilweise seit Millionen von Jahren auf die Interaktion mit Bestäubern spezialisiert und angepasst haben.

Aus diesem Prozess werden schlussendlich Demonstrationsobjekte mit Licht als Effektor herausgearbeitet. Die Erkenntnisse sollen die Arbeit im Bereich der E-Textilien weiter anstoßen und zu neuen Ideen führen. Das Potential aber auch die Grenzen von Filz als E-Textile sollen dabei besser verstanden werden.

Diese Arbeit ist während der Zeit Corona-Pandemie entstanden. Hierdurch musste unter gewissen Einschränkungen gearbeitet werden. Aufgrund des limitierten Zugangs zu Werkstätten mussten handwerklich Kompromisse eingegangen werden, so musste etwa beispielsweise auf 3D-Druck zur Erstellung exakt passender Gehäuse verzichtet werden.

Auch konnten die entstandenen Objekte und Prototypen nicht bei einem breiten Publikum getestet werden. Das Risiko einer Infektionsverbreitung durch eine Schmierinfektion ist bei interaktiven Objekten, welche berührt werden sollen, leider zu hoch.

DEFINITIONEN

Nassfilzen: "Traditionelle Verarbeitungsform von Wolle oder Tierhaaren, In Zusammenspiel mit warmem Wasser und Seife, Reiben und Drücken verkeilen die Fasern untrennbar miteinander, wobei das Werkstück stark schrumpft und ein festes textiles Flächengebilde entsteht. Die endgültige Form lässt sich dabei nahtlos aus einem Stück herausarbeiten." (Rahner, 2017, S. 189)

Auslegen: "Ausgezupfte Kammzug-Wollsträhnen in einer Reihe nebeneinander legen, die nächste Reihe überlappt die erste dachziegelartig. Die nächste Schicht ebenso, aber kreuzweise zur ersten (90°-Winkel) auflegen." (Rahner, 2017, S. 188)

Vorfilzen / Anfilzen: "Beginn des Filzens: Mit wenig Druck so lange filzen, bis [...] sich die Fasern einer Fläche leicht miteinander verbunden haben." (Rahner, 2017, S. 188)

Walken: "Ist die Verfestigung und Verformung des Werkstoffes durch mechanisches Bearbeiten wie Kneten, Reiben, Drücken oder Rollen." (Rahner, 2017, S. 188)

Zupfprobe: "Ein Test, ob der Filz zum Walken bereit ist." (Rahner, 2017, S. 189)

Kammzug: "Höchste Aufbereitungsform der Wolle. Ist langfasrig mit feinen, parallel nebeneinander liegenden Fasern; enthält keine Knötchen oder Unreinheiten mehr." (Rahner, 2017, S. 188)

Gaze: Ein dünner Stoff, welcher als Hilfsmittel zum Nassfilzen eingesetzt wird. Man nutzt es besonders zu Beginn des Filzprozesses, um zu verhindern, dass die Fasern zu sehr vermitschen.

Hohl(körper)filz: "Das Filzen mithilfe einer Schablone, welche die Form definiert und das Verbinden der Wollschichten verhindert. Wird in die Arbeit eingefilzt und erst vor dem Walken entfernt." Im Englischen wird die Schablone "resist" genannt, bei komplizierten mehrteiligen Schablonen spricht man auch von einem "multi-ribbed resist".

Resist / Bookresist: Objekt (Beispielsweise Luftpolsterfolie), welches während des Filzprozesses zwischen verschiedenen Wollpartien eingesetzt wird, um ein Zusammenfilzen zu verhindern. Das Resist wird nach dem Filzen entfernt. Ein Bookresist ist eine komplexere Form des Resists, welche mit ihren einzelnen Seiten wie ein seltsam geformtes Buch wirkt.

Biomorph: Der Begriff Biomorph setzt sich aus den Silben „Bio“ (Leben) und „Morphe“ (Form) zusammen. Aus diesen Silben abgeleitet, werde ich in dieser Arbeit als „biomorph“ beschreiben, was einer biologischen Form oder Gestalt ähnelt. Die Adjektive biomorph und organisch können als Synonym benutzt werden.

Geometromorph: Als geometromorph werden Objekte mit einer geometrischen, euklidischen Formgebung bezeichnet. Gerade Linien und rechte Winkel sind hierfür besonders bezeichnend.

EINLEITUNG

Der Mensch entwickelt seit jeher Technologie, um sein Leben zu erleichtern. Je mehr der Mensch entwickelt und erfindet, desto mehr umgeben ihn seine Kreationen und sein selbst geschaffenes Umfeld. So entwickeln sich in den letzten Jahrzehnten auch die digitalen Technologien immer weiter und werden zunehmend in Gegenstände des täglichen Gebrauchs integriert. Die meisten mit elektronischer Technik versehenen Objekte bestehen aus Materialien wie etwa Kunststoff, Glas oder Metall. Elektronik konnte bis jetzt nur in harter Form hergestellt werden, wodurch es auch mit harten Materialien entsprechend geschützt werden musste.

So sind auch die Benutzerschnittstellen zwischen Elektronik und Mensch meist hart und bestehen beispielsweise aus glatten Screens und Knöpfen, welche oft als unpersönlich und kalt wahrgenommen werden. Das neuere Phänomen der Sprachsteuerung entfernt sogar ganz die sichtbare oder taktile fühlbare Schnittstelle.

Die meist streng geometrischen Formen und harten Materialien der letzten Jahrzehnte sind hauptsächlich aus den Anforderungen der industriellen Herstellung entstanden. Für eine effiziente serienmäßige Produktion mussten die Formen elementarisiert und standardisiert werden. Der Funktionalismus führte zu einer stark geometromorphen Gestaltung, welche auch heute, wo die Produktionstechnologien dies nicht mehr unbedingt

verlangen, weiter stark verbreitet ist. Dies wurde in dem dieser Arbeit vorausgegangenem Proposal „Biomorphes Design“ erörtert und vertieft.

Neue Gestaltungs- und Produktionsmethoden wie etwa generatives Design, 3D-Drucken oder CNC-Fräsen ermöglichen es nun auch mit harten Technologien organische, biomorphe Produkte zu realisieren. So kann beispielsweise anhand generativen Designs biomorph gestaltet und anhand von CNC-Fräsen dann auch industriell hergestellt werden.

Eine weitere Entwicklung ist die der weichen Elektronik und der E-Textilien. Es wird zunehmend an weichen Alternativen für die bis jetzt nur starre Elektronik geforscht. Eine dieser Alternativen ist im Bereich der Textilien zu finden. So ist es im Labor beispielsweise bereits gelungen, OLED-Fasern (Kwon, et al., 2018) oder auch Solarzellen-Fasern herzustellen. (Lee, et al., 2009)

Zwar ist man noch am Anfang der Entwicklung weicher und textiler Elektronik, doch ist anhand leitender Garne, Stoffe und Wolle, welche bereits frei auf dem Markt erhältlich sind, bereits jetzt einiges möglich. Beispielsweise können elektrische Verbindungen genäht werden, Drucksensoren oder auch Lautsprecher in textiler Form gestaltet werden. Die Website des Kollektivs Kobakant bietet hier eine Vielzahl an Projekten zum Eintauchen in die Welt der E-Textilien (How to get what you want, 2020). Der Rest der Elektronik könnte in einigen Jahren eventuell vollständig in weicher oder sogar textiler Form folgen.

Der Vorteil dieser Entwicklung ist, dass die Technologie in gewissen Bereichen mehr an die menschlichen Bedürfnisse angepasst werden kann. E-Textilien bieten neue Möglichkeiten für den Bereich der „tangible and embodied interaction“ (TEI). Dieses Feld der Gestaltung und Forschung interessiert sich für neue Möglichkeiten der Mensch-Computer-Interaktion innerhalb des physikalischen Raumes. (Hornecker, 2011)

Textile Objekte können mit Technologie versehen werden, ohne ihre eigentlichen Eigenschaften einzubüßen. Beispielsweise könnten Fahrradjacken mit leuchtenden Abbiegesignalen versehen werden, ohne harte und störende Elemente an den Stoff befestigen zu müssen. Ein Sofa kann mit einem Bedienungsfeld versehen werden, ohne dort auf seine weiche Oberfläche und Polsterung verzichten zu müssen. (Brauner, van Heek, Ziefle, Hamdan, & Borchers, 2017)

Es können nun aber auch bis jetzt harte technologische Objekte von den textilen Vorteilen profitieren:

- Zunächst hinsichtlich der Flexibilität von Textilien. Sie können gefaltet, gestülpt, gespannt und drapiert werden. Je nachdem, ob ein Stoff gewoben, gestrickt oder gefilzt ist, kann es unterschiedlich weich, steif und dehnbar sein.

- Textilien fühlen sich warm und angenehm an. Sie existieren in einer breiten Vielfalt an Oberflächen und Texturen und bieten sowohl visuell als auch taktil ein reicheres Erlebnis als eine glatte Oberfläche.
- Textilien umgeben den Menschen seit Jahrhunderten in seinem täglichen Leben. Das Material fühlt sich für den Menschen vertraut an, es weckt Emotionen der Geborgenheit und kann Aversion gegen sonst als kalt und unmenschlich empfundene Technologie mindern.

Die leitenden Textilien eignen sich auch, wie bereits im Proposal „Soft Touch“ demonstriert, anhand von kapazitiver Sensorik als weiche, flexible Berührungssensoren. Hier - an der taktilen Schnittstelle zwischen Mensch und Technik – kommen die haptischen Vorteile der Textilien besonders zur Geltung.

Es gibt bereits Arbeiten und Produkte, bei denen flache Berührungssensoren mit textilen Oberflächen bespannt wurden. Bei der Gestaltung der Interaktion bei E-Textilien werden oft die gewohnten Konventionen der harten Elektronik übernommen. Es werden (weiche) Knöpfe und (flexible) Berührungsmatrizen erstellt, welche in gewisser Weise eine Übersetzung der harten elektronischen Knöpfe und Touchscreens auf das weiche textile Material sind. Es lohnt sich aber weiterführend, die besonderen Eigenschaften des Textils zu nutzen und materialspezifische Konzepte zu entwickeln (Schneegass & Amft, 2017, S. 233).

Im Proposal wurden bereits verschiedene traditionelle Handwerkstechniken wie etwa das Nähen, Stricken, Häkeln und Filzen ausprobiert. Jede dieser Techniken bietet ihre Vor- und Nachteile, doch im Laufe dieser Arbeit soll der Fokus auf das Filzen gelegt werden:

Filz wurde bis jetzt im Bereich der E-Textilien wenig eingesetzt und es gibt kaum Informationen über dessen Potential. Die Filztechnik – älteste Textilherstellungsmethode der Menschheit – ermöglicht aber unter den Textilien eine der flexibelsten Formgebungen. Sie eignet sich somit für einen explorativen Prozess für dreidimensionale Formen.

Mit der zuvor beschriebenen Ausgangslage sollen im Laufe dieser Arbeit textile Berührungssensoren gefilzt werden. Diese sollen mehreren Anforderungen gerecht werden:

- Ergonomische Anpassung an den Menschen
- Visuelle und formliche Anregung zur Interaktion
- Biomorphe Formgebung

Sowohl für die biomorphe Formgebung als auch für die Interaktionsanregung soll Inspiration bei Blumen und Blüten gesucht werden. Viele der Arten haben sich über Millionen von Jahren evolutionär angepasst, um die Interaktion mit Bestäubern zu optimieren.

Um diese Sensoren in ihrer Funktion und Wirkung testen und demonstrieren zu können, werden Leuchtobjekte hergestellt. Licht eignet sich gut, um sowohl zur Interaktion selbst zu bewegen, als auch als Effektor, um den Zustand des Sensors anzuzeigen.

INSPIRATION BLUETE



IN WIEFERN EIGNEN SICH BLÜTEN ALS INSPIRATIONSQUELLE?

Nun soll erst erläutert werden, in wiefern sich Blüten als Inspirationsquelle eignen.

Manche Arten haben sich seit Millionen von Jahren auf die Interaktion mit bestimmten bestäubenden Insekten, Säugetiere und Vögel spezialisiert (Peñalver, et al., 2012). Der Kampf um die Bestäuber wird evolutionär seit langem geführt und die Optimierung der Blüten zur Anlockung wird kontinuierlich ausgereift. Es lohnt sich, sich von diesen Anpassungen inspirieren zu lassen und zu erörtern, ob Ähnliches auch für die Mensch-Maschinen Interaktion sinnvoll wäre.

Zwar sind Blüten auf Bestäuber spezialisiert, doch auch der Mensch findet seit frühesten Zeiten Gefallen an ihnen. Sie werden dekorativ eingesetzt, verschenkt, oder auch in Kunst und Kunsthandwerk dargestellt. Sie tragen oft eine Symbolik in sich, werden bei verschiedensten kulturellen Feierlichkeiten, Heiraten, Trauerfeiern usw. benutzt. Sie werden sogar so weit gezüchtet, dass sie ihre ursprüngliche Funktion verlieren, nur um dem Menschen noch mehr zu gefallen (Stichwort "gefüllte Blüten").

Blüten sind ein gutes Beispiel für eine biomorphe Formgebung. Sie enthalten fraktale Formen und Muster; Kurven und Linien folgen eher der Fibonacci-Spirale, als streng geometrischen Geometrien. Die Oberflächen weisen Details auf. Blüten sind visuell vielfältig, detailreich und somit auch spannend und anregend.



Es gibt eine große Vielzahl an blühenden Pflanzen und jede fremdbestäubte Art kämpft um die Bestäuber. Wie verleiten die Blüten die Insekten dazu, eher sie zu bestäuben als eine andere Blüte? Es scheinen mehrere Faktoren zu sein, welche eine erfolgreiche Anlockung der Bestäuber begünstigen:

- Nektar
- Duftstoffe
- Farben
- Saftmale
- Größe & Formgebung

Sicherlich sind noch weitere Faktoren im Spiel, welche uns bis jetzt noch verborgen geblieben sind. Die uns bekannten sollen in den weiteren Abschnitten nun erst beleuchtet werden und eine Übertragung oder ein Vergleich für eine Interaktion mit dem Menschen erörtert werden.

NEKTAR

Der Nektar dient bei den Blüten und Insekten als Belohnung für die Bestäuber. Im Falle der Mensch-Maschine-Interaktion sollte die Belohnung der erwünschte Effekt des Menschen sein. So ist die Belohnung eines Lichtschalters, dass das Licht bei korrekter Interaktion ein- oder auch ausgeschaltet wird.

Man kann hier jedoch auch an Elemente der Gamification denken und zusätzliche Belohnungen geben wie etwa einen Score etc.

DUFTSTOFFE

Auch Duftstoffe werden von einigen Blüten eingesetzt, um die erwünschten Bestäuber anzuziehen oder auch Fressfeinde abzuschrecken (Terpene) (Breitmaier, 1999, S. 11)

Auch der Mensch reagiert stark über den olfaktorischen Sinn, doch sind hier teilweise die Geruchsempfindungen sehr verschieden und ein zu intensiver Einsatz von Duftstoffen könnte ohne entsprechende Erfahrung kontraproduktiv sein. Da der Fokus dieser Arbeit zudem auf der Morphologie, Farbgebung, sowie Oberflächenbeschaffenheit liegt, wird dieser Aspekt in dieser Arbeit zwar für weiterführende Entwicklungen in der Zukunft zur Kenntnis genommen, jedoch erst einmal in diesem Rahmen nicht weiter vertieft.

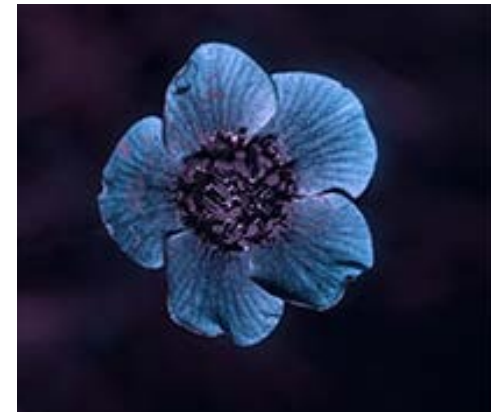
SAFTMALE

Anhand von Saftmalen (im englischen „nectar guides“) helfen die Blüten die Bestäuber schnell den Weg zum Nektar / Pollen zu finden. Aus kurzer Distanz können die entsprechenden Bestäuber diese Merkmale erkennen, welche sich hauptsächlich im UV-Bereich befinden. Solche Saftmale lassen sich bei Blüten verschiedener Pflanzen finden. Sie können die Form von Strichen, Kreisen, Ringen, Flecken oder auch einer Kombination dieser Formen annehmen.

Die Linien und Flecken helfen den Bestäubern sich richtig zu orientieren und weisen den Weg zum Nektar. Es wird vermutet, dass manche Flecken auch Landeplätze für Fliegenarten signalisieren.

Anhand der Saftmale wird zudem die Chance vermindert, dass die Bestäuber Nektarraub begehen. Manchmal extrahieren Bestäuber den Nektar beispielweise seitlich aus einem Loch in der Blüte, anstatt an den Fortpflanzungsorganen vorbei zu gehen und im Tausch gegen die Verbreitung des Pollens den Nektar zu bekommen. Da sich die Nektarbeschaffung anhand von führenden Saftmalen als effektiver und schneller gestaltet, leiden Blüten mit Saftmalen weniger an Nektarraub. (Leonard, Brent, Papaj, & Dornhaus, 2013) (Dafni & Giurfa, 1999)

Sie können auch den Zustand der Nektarproduktion der Blüte signalisieren, wie beispielsweise bei der Rosskastanienblüte. So kann die Energie der



Vergleich normaler und UV-Photographien verschiedener Blüten (Lilie, Butterblume, Vergissmeinnicht)

Bestäuber für eine effektive Bestäubung effizient eingeteilt werden.

Gleichzeitig agieren die Saftmale höchstwahrscheinlich als sichtbares Insektizid, mit welchem potenzielle Fressfeinde vom Verzehr der Blütenblätter abgehalten werden sollen. (Segelken, 2001)

Auch bei den Menschen gibt es führende Wegweiser, welche dieselben Funktionen wie Saftmale für Bestäuber erfüllen. Auch der Mensch verhilft sich im Alltag mit Hilfslinien und Markierungen bei der Orientierung, wie etwa im Verkehr. Die Fahrbahnmarkierungen am Rande der Straße helfen uns auch bei hoher Geschwindigkeit die Spur zu erkennen. Auch bei der Gestaltung von Produkten werden ähnliche Signalisierungen eingesetzt, wie etwa, um den Anfang des durchsichtigen Klebebands zu finden. Die radialen Striche und Ringe der Blüten lassen sich auch sehr ähnlich in den verschiedenen Symbolvariationen für "Hier berühren / Drücken / Klicken" finden.

Für den Menschen sollten solche Markierungen also im vom Menschen sichtbaren Farbbereich gestaltet werden. Zwar kann der Mensch kein ultraviolettes Licht sehen, doch kann er es indirekt durch Fluoreszenz und Phosphoreszenz wahrnehmen.

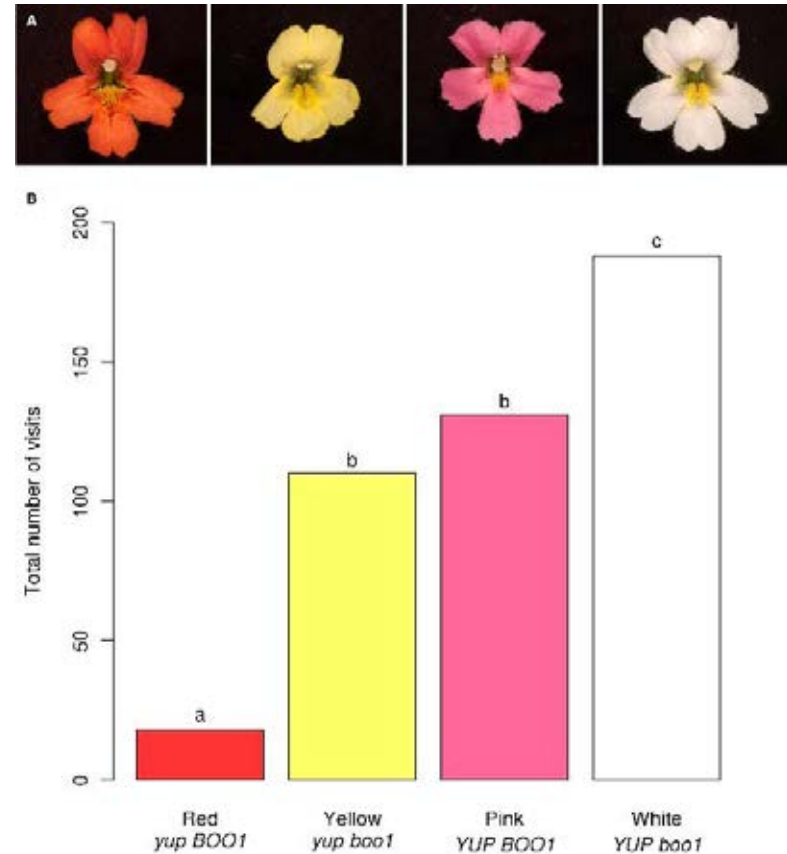


FARBEN

Die oft so bunten und leuchtenden Farben der Blumen sind nicht nur für den Menschen ästhetisch ansprechend, sondern besonders für die Bestäuber wichtig zur schnellen Orientierung.

Die Grundfarben der Corola (Gemeinsamkeit der Blütenblätter) signalisiert den Blüten die Präsenz der Blüte schon von weitem. Sie agiert als erster Eye-catcher. Manche Bestäuber spezialisieren sich auf bestimmte Farben. So gehen manche Schmetterlingsarten, Honigbienen und zB. auch Fliegen nur an Blüten mit bestimmten Farben (Byers & Bradshaw, 2017). Manche präferieren besonders reine spektrale Farben, welche auch für uns Menschen als besonders satte Farben wahrgenommen werden. Viele Blüten werden auch spektral reiner, je weiter es in das Zentrum der Blüte geht. So werden die Insekten automatisch in das Innere, zum Nektar geführt. (Dafni & Giurfa, 1999)

Nicht nur die Farbe der Blüte selbst spielt eine Rolle, auch der Kontrast zum Hintergrund ist wichtig. Je höher der chromatische Kontrast der Blüte zum Hintergrund, desto eher sticht die Blüte für den erwünschten Bestäuber heraus. (Dafni & Giurfa, 1999)



Auch bei menschlichen Objekten benutzen wir starke Farben und Kontraste, je wichtiger eine schnelle Interaktion ist. So sind Warnblinker meistens sehr auffällig und sichtbar gestaltet, der leuchtend rote Knopf wird schnell vom Auge erfasst.

Sogenannte "Signalfarben" werden besonders im Verkehr für verschiedenste Signalisierungen eingesetzt. Hierbei handelt es sich um sehr auffällige (zB: Neonfarben) oder stark kontrastierte Farben (zB. Weiß und Rot) Diese werden aber meist als aggressiv empfunden. Wie der Ausdruck es schon besagt: sie stechen ins Auge.

So sind auch in der Natur besonders farbintensive Wesen beispielsweise bei Vögeln zu finden, welche damit ihre Attraktivität gegenüber potenziellen Partnern steigern, jedoch auch bei besonders giftigen Wesen, mit denen eine Interaktion möglichst zu vermeiden ist.

Für diese Arbeit muss eingeschätzt werden, welcher Grad an Intensität der Farbgebung dem jeweiligen Zweck dienlich ist.



Schaltfläche eines öffentlichen Busses. Die wichtigsten Schalter und Signalleuchten heben sich farblich stark von der schwarzen Oberfläche ab.

Folgende Punkte erhöhen die Signalwirkung:

- Kontrast zwischen Blüte und Hintergrund
- Komplementärfarben
- Starke gesättigte Farben
- „Signalfarben“ (Neon oder stark kontrastierte Farben)
- Fluoreszente Farben
- Phosphoreszierende Farben bei Dunkelheit

Folgende Farben und Farbkombinationen sollten eventuell vermieden werden:

- Gelb / Schwarz sowie Weiß / Rot: wird zu oft für Baustellen/ Absperrungen genutzt, auch stechende Insekten werden damit assoziiert (interaktionhemmend)
- Primärrot: zu starke Blut / Gefahr Assoziation
- Neongrün: wird mit Gift in Verbindung gebracht

GROESSE & FORMGEBUNG

Die Formen der verschiedenen Blütenarten weisen eine enorme Varietät auf, welche für verschiedene Umweltbedingungen und Bestäubungsarten ausgelegt sind. Bei den fremdbestäubten Blüten ist die Blütengröße, sowie auch ihre Form stark auf die entsprechenden Bestäuber angepasst. So bieten sie beispielsweise günstige Landeflächen. Manche Blüten werden von vielen verschiedenen Bestäubern angesteuert, andere Blüten spezialisieren sich stark auf einzelne Bestäuber.

Manche Blüten beschränken sogar den Zugang auf bestimmte Insektenarten. So lässt beispielsweise die Formgebung des Löwenmäulchens die Bestäubung nur durch schwere / kräftige Insekten zu. Um an Nektar und auch Pollen zu gelangen, muss das Insekt die Unterlippe der Blüte drücken, so wie beispielweise die Hummel auf den Abbildungen. Der Nektar anderer Blüten ist beispielsweise nur mit einem Schmetterlingsrüssel erreichbar.

Nun sind Blüten meist auf viel kleinere Lebewesen als den Menschen angepasst. Blüten, welche für eine menschliche Interaktion ausgelegt sind, müssen zugleich größer als auch stabiler sein.

Eine Möglichkeit wäre, die Skala von Blüten auf den Menschen hochzuskalieren, so könnte also ein Mensch in eine Blüte vollständig hineinpassen. Dies könnte für manche Situationen vielleicht sinnvoll sein, in den meisten Fällen wäre aber solch ein großes Interaktionselement zu sperrig



und die Dauer für die Interaktion zu lang. Wenn man eine Leuchte anschalten möchte, sollte man zuvor nicht erst in eine riesengroße Blüte steigen müssen. Für einen Interaktiven Spielplatz wäre dies eine Überlegung wert.

Eine weitere Möglichkeit wäre, die Blüte so groß zu gestalten, dass die Interaktion mit den Händen begünstigt wird. Auch die Form kann hier der menschlichen Hand angepasst werden. ("Begreifen")

Um die Blüten für menschliche Aktionen zu wappnen, müssten sie auch deutlich robuster als normale Blüten sein. Im Falle von handgroßen Blüten, sollten diese beispielsweise das Umgreifen und Drücken aushalten.

Auch die Interaktionspartnerselektion könnte bei solch einem Selektionswunsch in einer begrenzten Anzahl an Fällen übertragen werden. Bei Menschen könnte hier die Blüte so geformt sein, dass nur Menschen mit gewissen Physiologien sie betätigen können: besonders kleine Blüten könnten nur von Kindern betätigt werden, besonders tiefe nur von Menschen mit langen Fingern usw.

WOLLE & FILZ

Im Folgenden werden die bereits bekannten Vor- und Nachteile der Schafswolle und der Filztechnik erläutert:

STAERKEN

- Wolle ist weich und formbar. Besonders Filz lässt sich in fast jede beliebige Form bringen. Im Gegensatz zu gewobenem Stoff kann Filz beispielsweise seine Dicke vollkommen über eine Fläche oder eine dreidimensionale Form ohne Nähte variieren. Es kann massiv, fest und formstabil oder auch dünn und drapierend gefilzt werden. Filz eignet sich damit sehr gut für die Gestaltung organischer Objekte. Da Filz zudem in traditioneller Form in Handarbeit mit den Händen geformt wird, führt die Herstellungsmethode theoretisch schon zu einem eher organischen Ergebnis. Das biomorphe Werkzeug "Hand" erhöht damit die Chance, ein Produkt zu formen, welches an die menschliche Hand angepasst ist.
- Filz weist einen Chaosaspekt und eine spannende Oberfläche auf. Durch das chaotische Verfilzen der einzelnen Wollfasern und auch der einzelnen Farben entstehen Oberflächen mit viel Tiefe. Im Gegensatz zu einer einfarbigen Kunststoffoberfläche, ist die Filzoberfläche sehr variierend und weist unendlich viele Details auf.



- Wolle ist stark wärmeisolierend und fühlt sich bei Berührung warm an.
- Wolle kann in ihren Fasern Wasser aufnehmen, stößt Wasser äußerlich aber ab! Sie ist also gut feuchtigkeitsregulierend.
- Wolle ist zum Teil selbstreinigend: Durch die abweisenden Fasern gelangt kein Schmutz in diese hinein, er trocknet an der Oberfläche ab. Durch Reibung streift sich der Schmutz wieder von der Faser. Wolle verschmutzt also nicht so schnell.
- Wolle ist schwer entflammbar. Sie entzündet sich nicht, sondern verkohlt. Somit ist sie im Gegensatz zu Polyester beispielsweise, besser für E-Textilien und Elektronik geeignet.
- Wolle ist geruchsneutral und gibt Gerüche schnell wieder ab.
- Filz kann geschnitten werden ohne auszufransen wie ein gewobener Stoff.
- Wolle ist schalldämpfend.

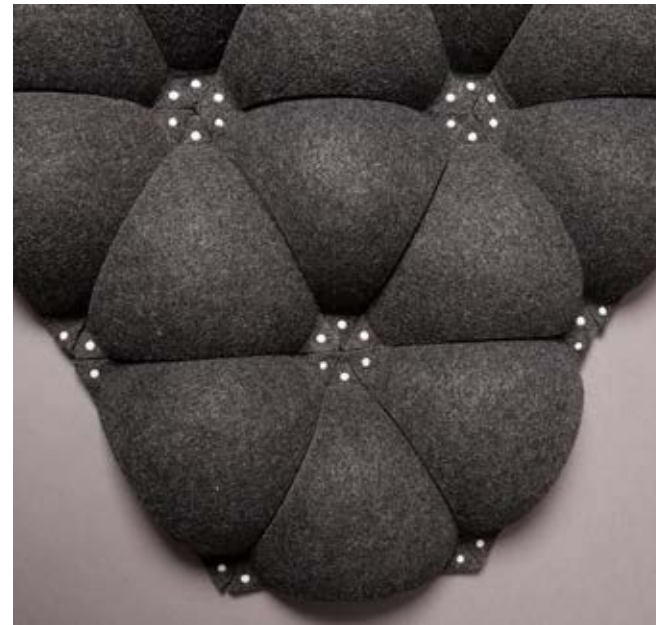


SCHWAECHEN

- Der Filzprozess ist im Gegensatz zu anderen Prozessen je nach Form sehr langwierig.
- Der Filzprozess ist nicht 100% kontrollierbar. Erst Jahre der Erfahrung erlauben exakt stimmende Ergebnisse
- Es existieren bis jetzt nur sehr wenige Maschinen für die Herstellung dreidimensionalen Filzes (Formfilz). Die Firma Becker KG verformt Filz in begrenztem Maße dank eines Formverfahrens (von ihnen dann Formfleece genannt)(Fritz Becker GmbH & Co. KG, 2020). Ein Team des Taubman College of Architecture and Urban Planning in den USA hat 2019 erste erfolgreiche Versuche mit CNC-3D-Nadelfilzen durchgeführt. Die Industriellen Methoden sind also auch für die Filztechnik auf dem Weg. (Aouf, 2019)

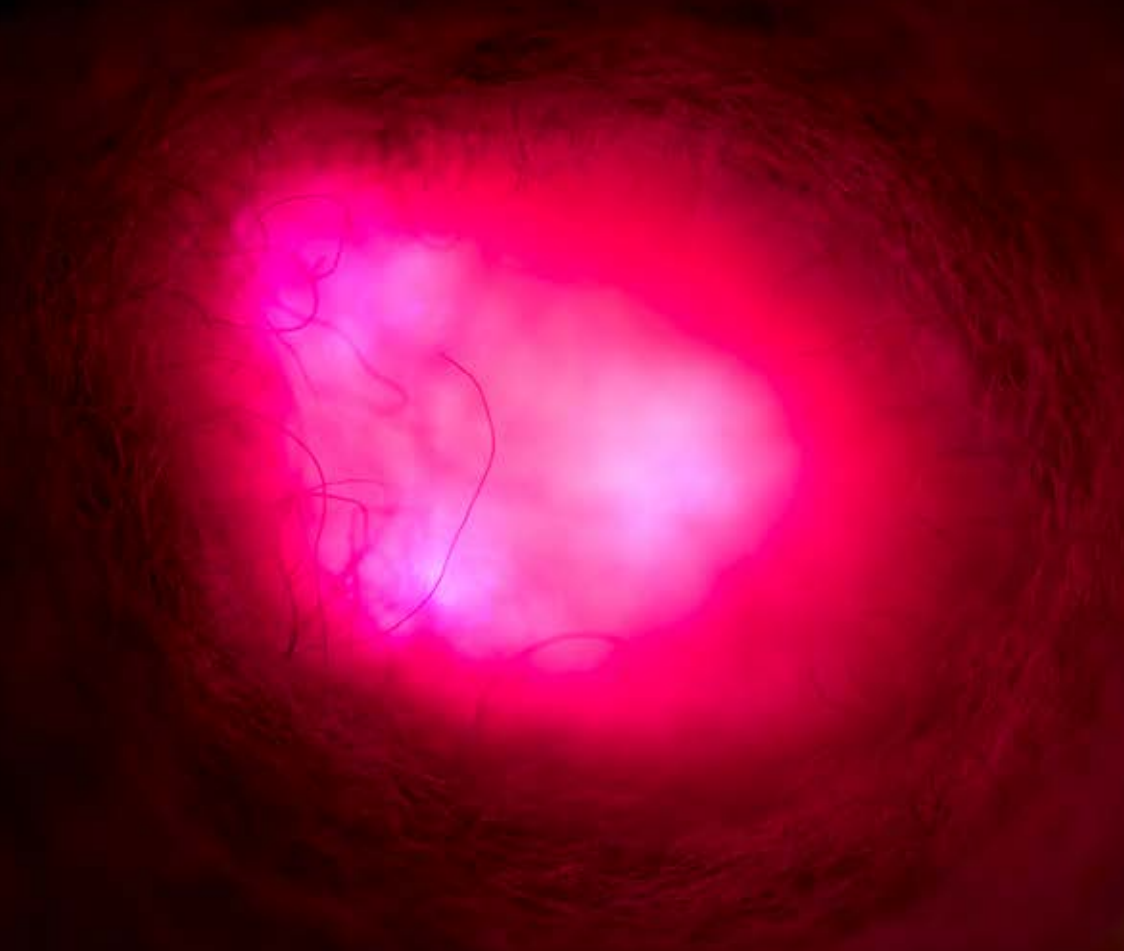


CNC-Nadelfilzer beim zusammenfügen einzelner Filzstreifen, sowie ein damit entstandener Sitzsack.



Formfleece Objekt

EXPLORATIVER PROZESS



ERSTE EXPLORATIONSPHASE

Zu Beginn wurde ein erster Explorationsprozess durchlaufen. Es wurden verschiedene Blütenformen gefilzt und auch andere natürliche Pflanzenelemente wie etwa Blätter hergestellt, um erste Erfahrungen zu sammeln, Hand anzulegen und sich in das Thema hineinzufilzen. Anhand der gefilzten Formen konnten Herstellungsmethoden, Formen, Oberflächen, Strukturen, Filzverhalten, und Lichtdurchlässigkeit ausprobiert und Ideen gesammelt werden.

Nach dieser ersten Explorationsphase wurden drei intensivere Versuchsreihen durchgeführt. Hierbei wurde zunächst jeweils die Sensorform hergestellt, ausprobiert und weiter angepasst. Dann wurden für den Sensor für Demonstrationszwecke passende Funktionen mit Licht als Effektor erörtert. Mit diesem Konzept wurde dann jeweils ein finaler Prototyp entwickelt.

Jeder dieser Prototypen musste ideal auf die Art des Berührungssensors ausgerichtet werden: Wie, was soll leuchten? Wie genau beeinflusst man es? Wie spielt alles am besten zusammen, was ergibt Sinn? Wie werden die Elektronik und der Filz bei den komplizierten Formen verbunden, ohne Schnittstellen sichtbar zu machen? Wie entsteht dabei ein in sich ästhetisches, und auch noch technisch funktionierendes Objekt?



Es ist hier zu bedenken, dass parallel an den verschiedenen Objekten gearbeitet wurde, und der Entwicklungsprozess somit organisch vonstatten ging. Erkenntnisse und Inspirationen wurden zwischen den verschiedenen Versuchsreihen ausgetauscht und übertragen. Der Entwicklungsprozess war somit nicht linear und ist damit auch nicht vollständig in Form dieser linearen Dokumentation wiederzugeben.



STERNSENSOR

Diese Versuchsreihe begann ursprünglich mit der Inspiration an Lilien.

Erst wurden ein Paar vereinfachte Lilien gefilzt. Für eine Interaktion mit dem Menschen stellten sich diese aber als sensibel und instabil dar. Die intuitive Handhabung schien mir das Zwicken der Blütenblätter zu sein.

Mit dem Gedanken, diese Blütenblätter robuster zu gestalten, so dass sie richtig umfasst werden können, kam die Idee dickere Blütenblätter zu filzen, welche anschließend gestopft werden könnten. Vergleichbar mit Blättern einer Aloe-Vera, nur weicher.

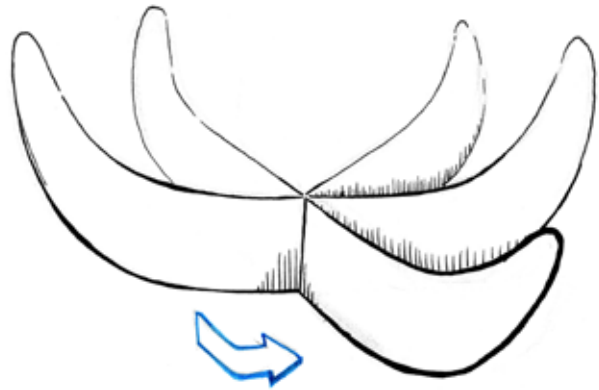
FORMENTWICKLUNG

Die Formentwicklung dieser Versuchsreihe hat sich als kompliziert erwiesen, weswegen auch mehrere Techniken ausprobiert wurden. Um die einzelnen Blütenblätter / Äste robust und voluminös zu gestalten, so dass sie umgriffen werden können, müssen diese als Hohlfilz ausstopfbar gefilzt werden.



Als erstes wurde ein Bookresist mit fünf Ästen im Profil erprobt.

Die Basis zwischen den Abzweigungen wurde dabei sehr eng. Die Abzweigungen hängen direkt aneinander. Zudem sind die einzelnen Äste für die menschliche Hand nach dem Schrumpfprozess zu kurz und am Ende zu dünn.







Um die zu eng aneinanderhängenden Äste zu vermeiden, wurde in einem weiteren Versuch statt eines Bookresists, ein flaches Resist in Kombination mit der „Differential-Shrinkage-Technik“ angewandt: Die einzelnen Äste erhalten bei dieser Methode ihre Krümmung alleine durch unterschiedliche Mengen an Wollschichten (viele grüne Schichten außen, wenige gelbe Schichten innen) und einseitigem Walken. Die Äste wurden auch länger, und erst spät an der Spitze zulaufend angesetzt.

Das Ergebnis war aus ergonomischer Sicht eine Verbesserung: Die Äste haben eine angenehme Länge und Dicke. Die Krümmung der Äste könnte hingegen noch etwas stärker ausgebildet sein. Die einzelnen Astansätze liegen jetzt nicht mehr eng aneinander, was mehr Stabilität bietet und auch visuell ansprechender wirkt.







Für das nächste Filzobjekt wurde nun die Funktion festgelegt. Anhand der einzelnen Äste sollte eine Lichtfarbe eingestellt werden. Hierbei würden drei Werte eingestellt werden können:

RGB (Rot, Grün, Blau) oder HSB (hue, saturation, brightness).

Aus diesem Grund sollte die Anzahl der Äste auf drei reduziert werden.

Zudem sollte noch eine Art Lichtblase für LEDs zwischen den Ästen entstehen, sowie eine Art Rock, womit das Filzobjekt über seine Elektronikbasis gestülpt und stabil befestigt werden kann.

Da die letzten zwei Punkte nicht mit einem flachen Resist möglich wären, musste nun doch zur Book-Resist Technik zurückgegriffen werden.

Nach der Fertigstellung und Ausstopfung dieses Filzobjektes stellten sich mehrere Punkte heraus:

Das Filzobjekt erweckt keinen floralen Eindruck mehr, es wirkt insektomorph. Durch die Reduzierung auf drei Äste und deren Krümmung wirkt das Objekt wie eine Klaue mit drei Krallen. Durch die Größe des Objektes wirkt es auch teilweise wie ein Kopf mit drei Hörnern. Der Eindruck geht in eine aggressive, bedrohliche Richtung.







Ein letzter Versuch wurde daraufhin noch gestartet. Um den floralen Eindruck zurückzuerlangen wurde die Anzahl der Äste auf sechs erhöht. Da jedoch nur drei Äste als Sensoren dienen sollten, wurden die zusätzlichen Äste kleiner und somit weniger hervorstechend gestaltet.

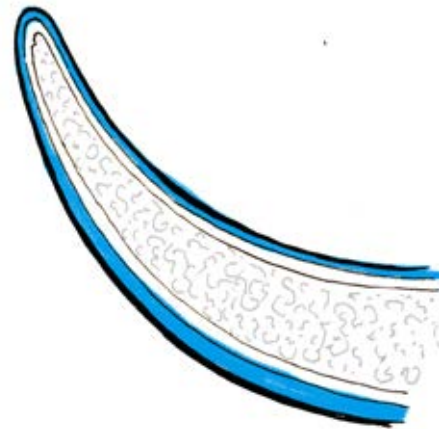
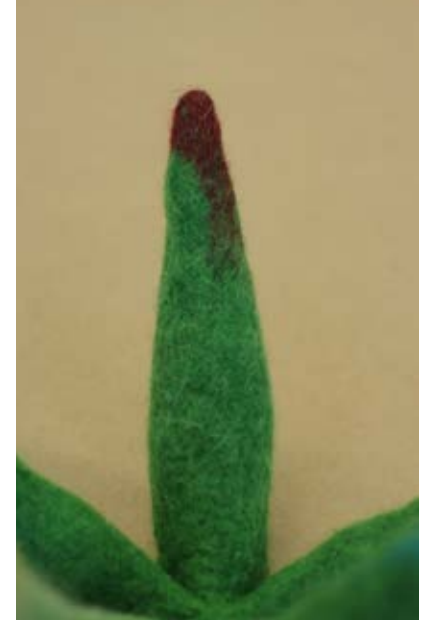
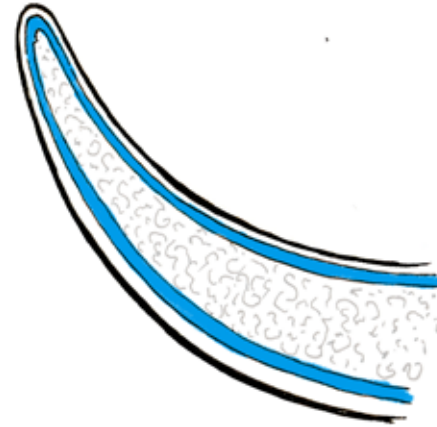
Um einen aggressiven oder greifenden Eindruck zu vermeiden, sollten die Äste in diesem Fall nach außen gekrümmt werden. So sollten diese eher wieder dem Schwung einer offenen Lilie entsprechen. Die Lichtblase musste leider aus konstruktionstechnischen Gründen weggelassen werden.



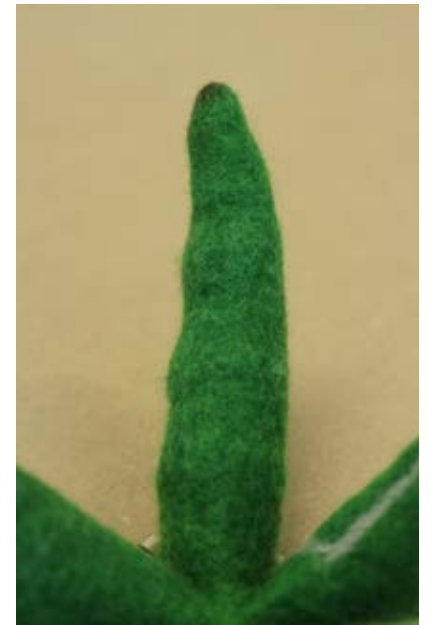
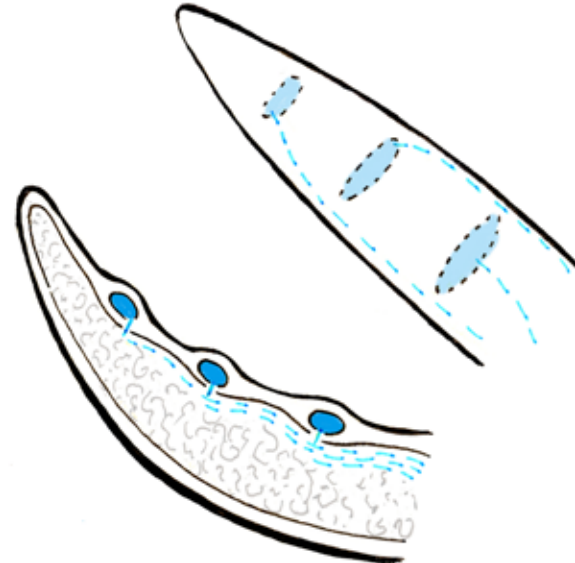
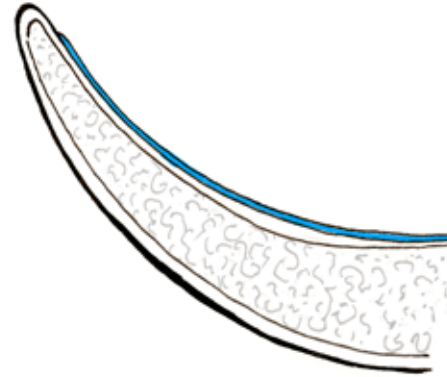
SENSORENTWICKLUNG

Bei dem ersten Formversuch wurde zugleich ein Sensorversuch durchgeführt und verschiedene Integrationen leitender Wolle ausprobiert:

- leitende Wolle innen
 - + angenehme Oberfläche
 - + gleichmäßige Sensorwerte
- leitende Wolle außen
 - + ermöglicht gute Unterscheidung von Nähe und Berührung
 - raue Oberfläche
 - verlangsamt den Controller bei Berührung stärker



- leitende Wolle außen mit Filznadel angefilzt
 - scheint bei den geringen Mengen leitender Wolle nicht zu funktionieren
- leitende Wollstreifen, mit Wolle verdeckt (mehrere Sensorflächen)
 - + angenehme Oberfläche
 - + gute Sensorwerte (solange die leitenden Flächen sich nicht verfilzen)



FUNKTION / KONZEPT

Die Form des Sensors kann theoretisch für diverse Funktionen und Objekte eingesetzt werden. Durch die langen Äste kam ursprünglich die Inspiration, in jedem Ast einen Slider als Sensor zu integrieren. Diese Idee wurde aus technischen Gründen wieder verworfen.

Das finale Objekt sollte als atmosphärische Beleuchtung agieren. Die Firma Philips bietet beispielsweise unterschiedliche Ambiente-Lichter, welche per App oder Fernbedienung einstellbar sind. In diesem Fall soll das Licht jedoch anhand der Filzäste direkt an der Lichtquelle eingestellt werden.

Um über die finale Form und die Farben des Objektes entscheiden zu können, müssen die einstellbaren Werte erst festgelegt werden. Um die Farbe ansteuerbarer LEDs einstellen zu können, gibt es hauptsächlich zwei Farbmodelle:

- RGB (Rot, Grün, Blau)
- HSB (Hue/Farbton, Saturation/Sättigung, Brightness/Helligkeit)

Beide Systeme haben gewisse Vor- und Nachteile. HSB ist insbesondere für den Laien ein intuitiveres System als RGB, da man nicht die additive Farbmischung berücksichtigen muss. Im Falle des HSB-Farbmodelles kann der Farbton einfach gewählt werden und anhand des Sättigungs- und Helligkeitswertes angepasst werden.

Der Nachteil des HSB-Systems hingegen - sollte sich herausstellen - , ist dass manche Interagierende verunsichert scheinen, sobald sie die Sättigung reduzieren: Ist die Sättigung zu niedrig, so ist bei der Veränderung des Farbtons kaum eine Veränderung zu bemerken.

Um die Farbauswahl intuitiver für den Interagierenden zu gestalten, wurde das HSB-System gewählt. Ein weiterer Punkt war, dass diese Wahl zu einer angenehmeren Farbgestaltung des Objektes führen würde, wie in den nächsten Seiten weiter erörtert.

LICHT & FARBENTWICKLUNG

Bei diesem Objekt sollte die Farbgebung des Filzes auf dessen Funktion hinweisen.

Die drei einzelnen Äste sollten also farblich ihre jeweiligen Funktionen signalisieren. Anhand von Illustrationen wurde eingeschätzt, wie der visuelle Eindruck eines RGB- oder eines HSB-Objektes sein könnte. Hierbei wurde festgestellt, dass ein RGB-Objekt durch seine drei Grundfarben etwas unorganischer / unnatürlicher wirkt.

Für dieses Objekt sollte also mit einem Ast jeweils der Farbton, die Sättigung und die Helligkeit manipuliert werden können.

Jeder Ast sollte einen farblichen Übergang vorweisen, um auf die verschiedenen Zustände / Effekte der Interaktion hinzuweisen: Der Erste bunt in allen Farbtönen, der Zweite von Weiß zu voll gesättigt, und der Letzte von Weiß zu Schwarz. So weisen auch alle Äste einen weichen Übergang zum weißen zentralen Teil vor.

Die übrigen Äste ohne Funktion werden mit weißer Wolle gefilzt, um farblich nicht hervorzustechen. Damit sollten sie neben den größeren und bunten Ästen intuitiv auch nicht als Funktionsäste wahrgenommen werden.

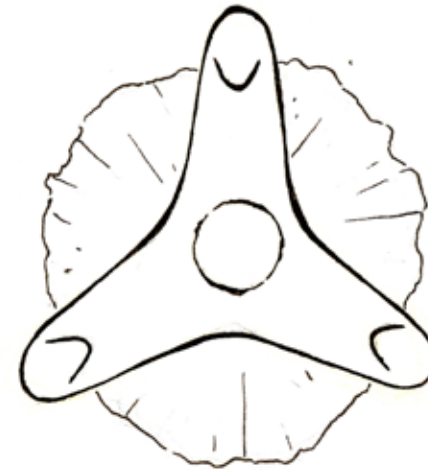


Das an den Ästen eingestellte Licht soll unter den Ästen um die Basis herum leuchten und dabei einerseits die Wand / den Untergrund anstrahlen, aber auch durch einen Sichtschutzrock hindurch in die Richtung des Interagierenden strahlen.

Dieser Rock soll drei verschiedene Funktionen erfüllen. Einerseits soll er den Betrachter davor schützen von den LEDs direkt geblendet zu werden. Zudem soll es die LEDs selbst verstecken, welche nicht direkt abgeschirmt werden sollen, um möglichst weit strahlen zu können.

Schlussendlich trägt er zu einem Farbspiel mit dem Licht bei: Der Rock wird nicht nur mit weißer, sondern auch mit bunter Wolle gefilzt. Strahlt buntes Licht hindurch, so entstehen durch die Lichtabsorption verschiedene Farbeindrücke beim Betrachter. Dieser Effekt wurde experimentell bei Filzversuchen entdeckt.

Solch ein weit ausfächernder Sichtschutzrock müsste jedoch separat von dem Hauptfilzstück gefilzt werden, da es mit dem Bookresist nicht in einem Stück gefilzt werden kann.



FILZPROZESS

Im Folgenden werden am finalen Objekt die einzelnen Schritte des Filzprozesses für den Sensor demonstriert.

Zuerst wurden die drei Resist-Teile aus Luftpolsterfolie geschnitten und mit transparentem Paketklebeband zu einem Bookresist zusammengefügt.

Anschließend wurde die Wolle vorsichtig Astseite für Astseite ausgelegt und angefilzt: 2 Schichten leitende Wolle (2 Gramm pro Ast) und 3 Schichten bunte Wolle an den Ästen. 4 Schichten Weiße Wolle an der Basis.

Es wurde auf einer Seite begonnen. Erst wurden die entsprechenden Wollschichten ausgelegt. Anschließend wurde eine Schicht Gaze darüber gelegt, die Wolle genässt und etwas angefilzt.





Nun wurde einer der Äste samt der Gaze umgeklappt / umgeblättert. Diese verhindert ein Verfilzen der verschiedenen Äste im weiteren Prozess. Nun wurde erneut die Wolle ausgelegt und genässt.

Zwischen verschiedenen Schritten musste die überstehende Wolle umgefalten werden.

Anschließend wurde der nächste Ast umgeblättert. Bei den funktionalen Ästen mit leitender Wolle wurde immer erst die leitende Wolle ausgelegt bevor überstehende Wolle umgeklappt wurde. So wurde eine zusammenhängende leitende Fläche garantiert.

Dann wurde wieder die übliche Wolle darüber ausgelegt und genässt. Überstehende Wolle wurde auf die andere Astseite umgeklappt.





So wurde nun Ast für Ast weiter vorgegangen. Waren alle Seiten ausgelegt und angefilzt, wurde vorsichtig immer stärker gefilzt.

Sobald das Resist durch die Astspitzen zu brechen drohte und das Stück der Zugprobe standhielt, wurde das Resist entfernt.

Nun wurde vorsichtig weitergefilit: Erst wurden die Kanten ausgeglättet. Anschließend wurden die einzelnen Äste in die Krümmungsrichtung gewalzt. Bevor das Filzstück zu eng für die harte Kunststoffbasis wurde, wurde es darübergestülpt und weitergefilit.

Schlussendlich wurde das Stück ausgespült, 30 Minuten in eine Essiglösung gelegt und erneut ausgespült. Zum Trocknen wurde das Filzstück wieder auf die Elektronikbasis gestülpt. Um die Astkrümmung auch im Trockenprozess weiter zu verstärken, wurden die einzelnen Äste in der gewünschten Richtung eingerollt.



ZUSAMMENSETZEN

Für die Zusammenstellung des finalen Objekts musste erst das harte Gehäuse für die Elektronik vorbereitet werden. Hierzu wurde ein Übertopf aus Kunststoff eingesetzt.

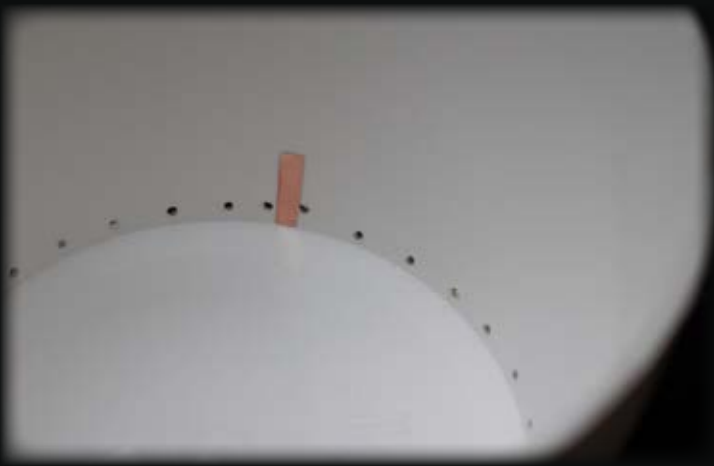
Dieser musste erst einmal auf die entsprechende Höhe gekürzt werden. Löcher für das Annähen der Sensoren, das Festnähen des Filzstückes, Festschrauben der Platine und Durchziehen von Kabeln wurden im Laufe des Prozesses Stück für Stück gebohrt und geschmolzen.

Anschließend wurden die einzelnen Äste mit Füllwatte ausgestopft. Ein langer dünner Stab half, die Watte bis in die Astspitzen zu bekommen.



Im nächsten Schritt sollten das Filzstück festgenäht und die Sensoren angenäht werden. Für die Sensoren wurde leitendes Klebeband aus Kupfer in das Innere des Gehäuses an den entsprechenden Stellen befestigt. Später würden dort Kabel zur weiteren Übertragung des Signals an den Controller angelötet werden.

An die Sensoräste wurde schon einmal leitendes Garn angenäht.



Anschließend wurde mit üblichem Garn das Filzstück rundherum an das Kunststoffgehäuse festgenäht.

Bevor der Filz fertig angenäht war, wurde noch Füllwatte nachgestopft, bis die erwünschte Festigkeit erreicht wurde.

Klammern wurden eingesetzt, um das gestopfte Filz in Position zu halten: so musste nicht unter Spannung fertiggenäht werden.



Der überstehende Filz wurde dann hochgeklappt. Die bereits zuvor angenähten Sensorgarne wurden dann an das Kupfertape im Inneren des Gehäuses festgenäht und mit etwas Kleber gesichert.

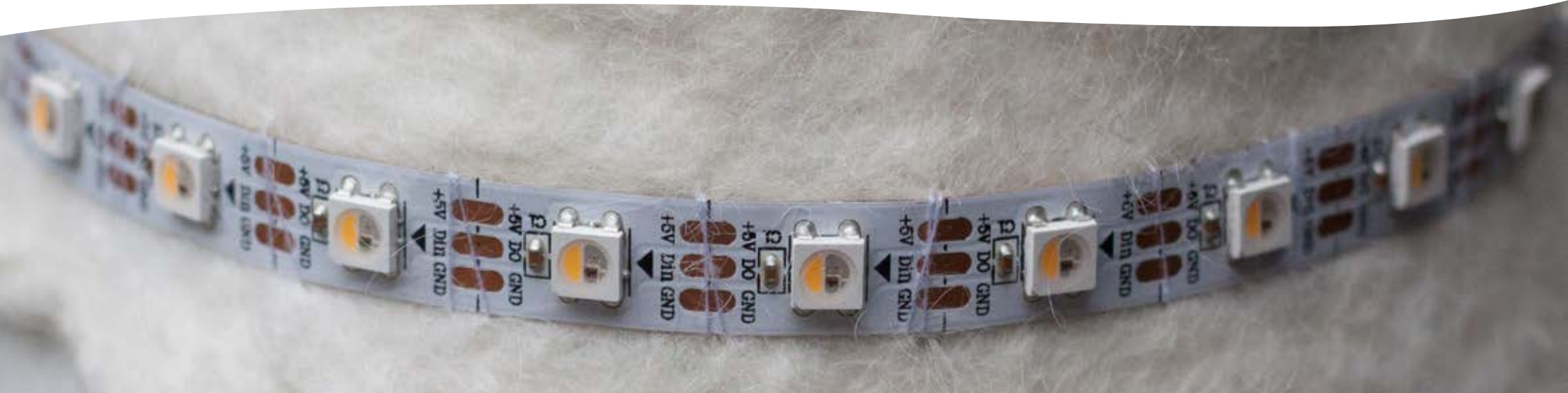
Auf der nächsten Seite ist eine fertige Sensornaht von innen und von außen abgebildet.







Im nächsten Schritt wurden die LEDs vorbereitet und angebracht. Kabel wurden an den LED-Streifen gelötet und durch einen entsprechenden Schlitz in das Gehäuse gezogen. Der LED-Streifen wurde dann an den Filz und das Gehäuse genäht.



Über den LEDs wurde dann der Sichtschutzrock festgenäht.

Im Nachhinein wurde außerplanmäßig noch ein zweiter Sichtschutzrock unter die LEDs platziert. Es stellte sich heraus, dass dieser dem Objekt noch eine weitere Ebene und somit mehr Struktur und Tiefe gibt. Auch die Lichtstreuung wirkt hierdurch interessanter.

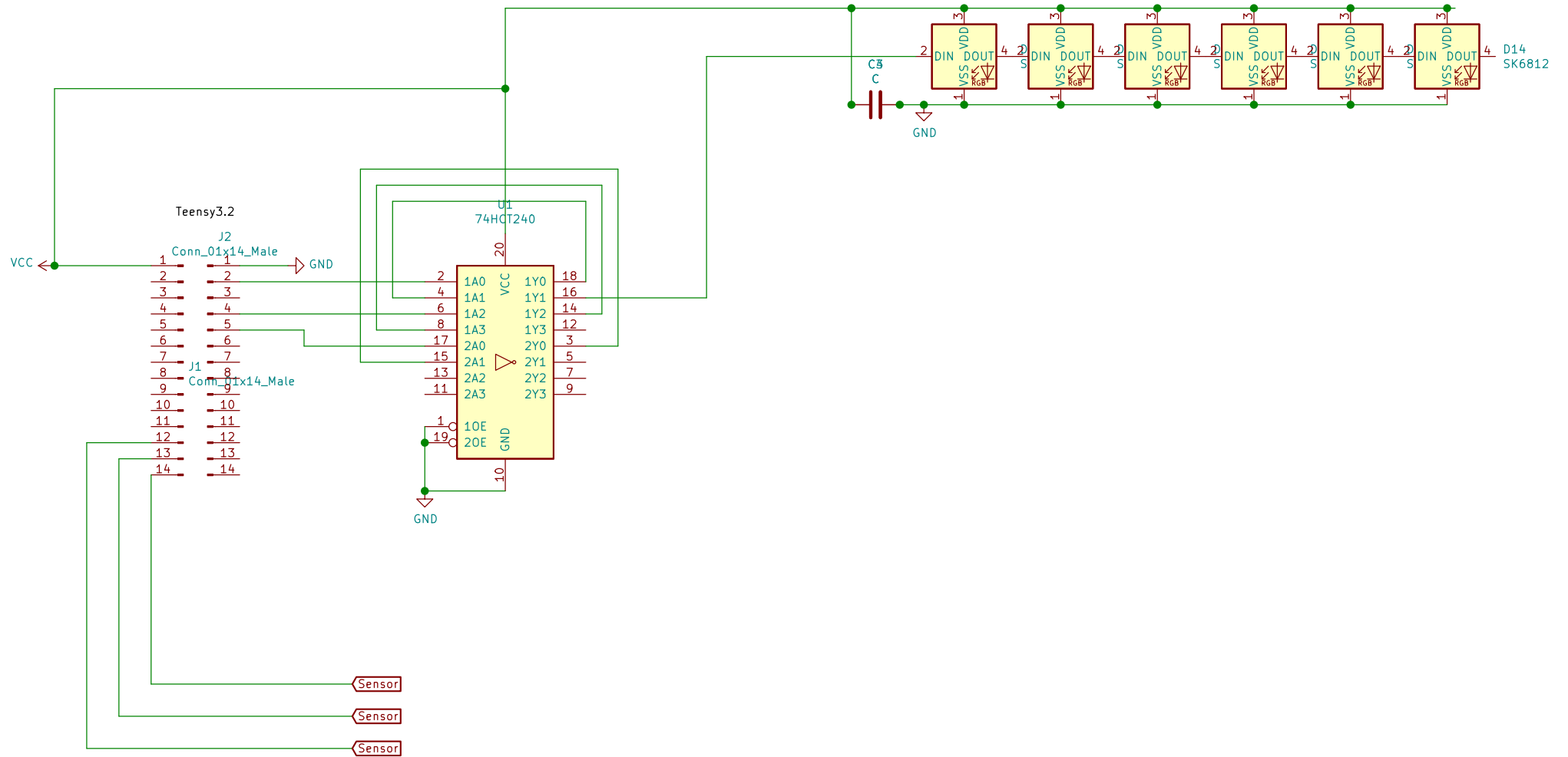


Schlussendlich wurden die fertig vorbereitete Platine eingebaut und die gesamten Kabel verbunden / verlötet.

Ein vorbereiteter Deckel verschließt das Gehäuse und bietet eine Aufhängemöglichkeit.

Auf der nächsten Seite ist der Schaltplan der Elektronik abgebildet.







BULBUSSENSOR

Diese Versuchsreihe hat ursprünglich mit der Inspiration an stieltellerförmigen Blumen begonnen.

Manche Blüten sind auf Schmetterlinge spezialisiert und haben nur einen sehr schmalen Blütenkelch, der den Zugang zum Nektar nur anhand eines Rüssels ermöglicht. So entstand die Idee eine Blume zu entwickeln, in die allein ein Finger hineinpasst.

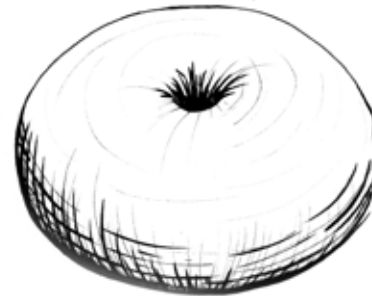


FORMENTWICKLUNG

Um eine robuste Filzblüte für einen einzelnen Finger zu gestalten, dürfte das Fingerloch nicht nur ein flexibler dünner Schlauch sein, dieser wäre für sich allein recht instabil. Es müsste also in ein festeres solideres Objekt eingebettet werden.

Erst wurde eine Donut-ähnliche Form erwägt, doch wäre diese aus filztechnischen Gründen nur sehr schwer realisierbar gewesen. Diese Form könnte nur mit massivem Filz (anstatt gestopftes Hohlfilz) erreicht werden, was auch eine Verkabelung der Sensorik schwierig gestaltet hätte.

Es wurde anschließend eine ähnliche Form erwägt, welche jedoch nach unten offen ist. Als erstes wurde ein Formtest durchgeführt, um die Machbarkeit der Idee zu überprüfen. Hierbei wurde also erst ermittelt, wie anhand eines Resists eine solche Hohlform erreicht werden kann.



Der erste Formtest stellte sich als sehr interessant dar. Die Größe und Form lädt nicht nur dazu ein, einzelne Finger in das Loch zu führen, es bietet auch eine gute Ablagefläche für die restliche Hand. Die gesamte Handfläche kann somit während der haptischen Interaktion die Oberfläche berühren und die Wolloberfläche erfühlen. Die Form ermöglicht es, einzelne Finger einzuführen aber auch die Form mit einer oder mehreren Händen zu umfassen oder auch zu quetschen.





Diese Form wurde in den weiteren Versuchen nur leicht variiert: Der Bulbus wurde vergrößert, doch stellte sich dies als ergonomisch ungünstiger dar. In diesem Falle war das Material um das Fingerloch zu groß, wodurch es bei der Handhabung den nicht-eingeführten Fingern im Weg stand.





Aus diesem Grund wurde der Bulbus für die finale Version wieder verkleinert.



SENSORENTWICKLUNG

Der Entstehungsprozess des Bulbus ließ die Sensorentwicklung etwas komplizierter gestalten.

Da das Fingerloch durch eine Zusammenraffung einer Fläche entsteht, wurden mehrere Methoden ausprobiert.

Erst wurde versucht nach dem Zusammenraffen der Fläche leitende Wolle hinzuzufügen. Dies erwies sich als unsaubere Methode, die leitende Wolle verschmierte, selbst bei vorsichtigem Anfilzen. Es entstand eine unregelmäßige leitende Fläche und somit ergaben sich instabile Sensorwerte.



Dann wurde versucht, die leitende Wolle direkt beim Auslegen des Kugelvorfilzes auf das Resist mit auszulegen. Hierbei wurde auch versucht, zwei Sensorflächen zu integrieren: eine im Fingerloch und eine andere mit etwas Abstand darum herum.

Hier rechts sind die leitenden Zonen während des Auslegens zu sehen. Oben mittig in weiß die Zone für den Fingerlochsensoren. Unten sieht man im Außenbereich in weiß die leitende Wolle für den Flächensensor.

Dies ermöglichte eine gleichmäßigere leitende Fläche, doch hatten sich beide Sensorflächen zu einer verbunden. Egal wo das fertig gefilzte Objekt berührt wurde, beide Sensoren schlugen aus.



Ein in einem dritten Versuch wurden ein weiterer Ansatz untersucht, um solch eine unerwünschte Verbindung weiter zu vermeiden. Die äußere Sensorfläche wurde direkt ausgelegt. Die innere jedoch wurde erst mit einem leitenden Garn zwischen Schichten weißer Wolle separat vorgefilzt. Zum Zeitpunkt der Raffung dann wurde dieses Vorfilz an die entsprechende Stelle positioniert und angefilzt.

Dies schien funktioniert zu haben, die leitenden Flächen waren nicht miteinander verbunden. Es sollte sich jedoch herausstellen, dass höchstwahrscheinlich die Form selbst dennoch Probleme bei den Messungen hervorruft.



FUNKTION / KONZEPT

Nun sollte für diese Form ein Nutzungskonzept für Test und Demonstration entstehen. Hierzu sollten erst die Stärken dieser Formgebung hervorgehoben werden:

Die runde, weiche Form wirkt sanft und ungefährlich. Durch diese Form kann das Fingerloch blind gefunden werden. Die Wölbungen ermöglichen es der Hand sich taktil zur Mitte zu navigieren.

So entstand die Idee, den Bulbus als Nachlicht oder Stilllicht weiter zu entwickeln. So könnte man auch im Dunkeln, verschlafen oder müde, das Objekt durch Herantasten bedienen. Hier könnte der taktile Vorteil also gut genutzt werden, besonders wenn man bedenkt, wie mühsam es sein kann, kleine Knöpfe im Dunkeln zu finden.



LICHT & FARBGEBUNG

Für eine beruhigende Wirkung darf der Bulbus nicht mit zu aggressiven Farben gefilzt werden. Es sollen warmwohligere Farben eingesetzt werden.

UV-Licht hat den Vorteil kaum zu beleuchten, außer es trifft auf fluoreszierende oder phosphoreszierende Objekte. So könnte man fluoreszierende Wolle einsetzen, welche unter dem UV-Licht also noch leuchtet, während die restliche Umgebung weiterhin dunkel bleibt.

Anhand der Leuchtstärke kann man dann das richtige Maß finden, damit die fluoreszierende Farbe nicht zu aggressiv wirkt, sondern eher mysteriös magisch leuchtet. Unter Umgebungslicht jedoch würde die fluoreszierende Wolle dennoch aggressiv bunt wahrgenommen werden. Um dies zu vermeiden, soll eine weiße Schicht Wolle über die fluoreszierende kommen, so wirkt sie eher pastellfarben unter Tageslicht.

Das Fingerloch hingegen soll stark bunt sein und den Blick fangen. Anhand mehrerer UV-LEDs soll die dunkle Vertiefung von innen heraus einladender erhellt werden.

Da Orange und Fuchsia als einzige warme fluoreszierende Farben bereitstehen, wird mit ähnlichen Farben gearbeitet.

Rot / Orange / Warmgelb / Lila. In der Fläche noch mit Weiß bedeckt, für einen



pastellartigen Farbton, für Highlights wie das Fingerloch auch gesättigt.

Eine Spirale über den Bulbus soll im Weiteren mehreren Zwecken dienen:

Inspiziert von den Saftmalen vieler Blüten, soll die Spirale den Weg zum Zentrum weisen. Eine Spirale ähnelt hier auch stark den konzentrischen Saftmalen, welche oft auf Blüten zur Orientierung zu finden sind. Dabei dient die Spirale auch als Farbhighlight, jedoch in Form einer Linie, welche nicht zu viel Fläche einnimmt.

Damit der Bulbus atmosphärisch leuchten kann, muss er von außen beleuchtet werden. Da der Bulbus gestopft wird und nicht hohl bleibt, kann er auch nicht von innen beleuchtet werden. Da er aus Filzverfahrensgründen und Stabilitätsgründen dick sein muss, würde das Licht auch nicht hindurch leuchten.

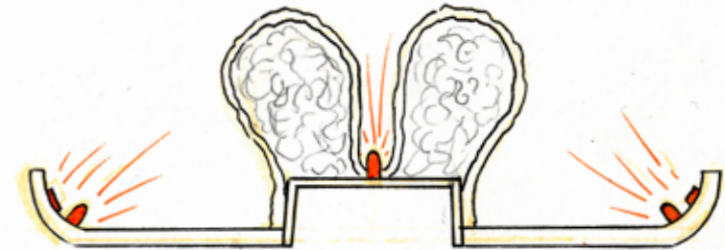
So muss der Bulbus also mit etwas Abstand rund herum beleuchtet werden, damit das Licht sich auch sanft darauf streuen kann. Hierbei sollen sowohl RGB- als auch UV-LEDs eingesetzt werden.

Eine breite Basis wird also benötigt, an der die LEDs mit genügend Abstand zum Bulbus, diesen anleuchten können. Hierzu sollte ein runder Pflanztopf-Unterteller benutzt werden. Der Rand sollte eine entsprechende Rundung

haben, um die LEDs mit einem angenehmen Winkel zum Bulbus platzieren zu können.

Diese notwendige Basis soll mit Filz bespannt werden, um einen einheitlichen Eindruck ohne sichtbaren Kunststoff oder auffälliger Elektronik zu vermitteln. Diese Basis soll nach demselben Farbkonzept gefilzt werden wie der Bulbus selbst: Bunte und fluoreszierende Wolle mit einer Schicht Weiß, sowie einer Spirale.

Über den LEDs soll eine dünne weiße Schicht Wolle platziert werden: Als Blendschutz, zur Lichtstreuung und zum Verstecken der LEDs.



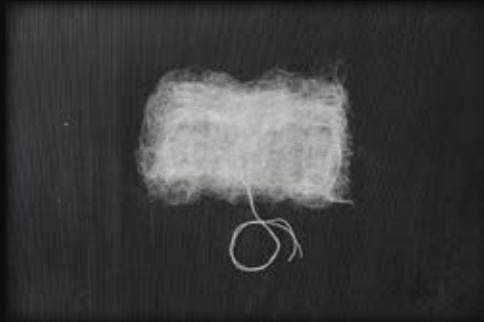
FILZPROZESS

Für den Bulbus-Sensor mussten zwei Filzstücke vorbereitet werden:

- Das leitende Inlay für das Fingerloch
- Der Kugelvorfilz

Im Folgenden wird der Filzablauf für den Sensor demonstriert. Für das fertige Objekte wurden im weiteren Verlauf noch eine Filzbasis, sowie ein Blendschutz gefilzt.

Begonnen wurde mit dem leitenden Inlay.





Erst wurde eine dünne Schicht weißer Wolle ausgelegt. Darauf wurden zwei Schichten mit jeweils 0.4 g leitender Wolle ausgelegt.

Für eine sichere Verbindung zur gesamten leitenden Wolle und eine einfachere Verbindung zur der Elektronik wurde an dieser Stelle leitendes Garn platziert. Eine weitere dünne weiße Schicht Wolle beendete den Auslegevorgang. Nun wurde die Wolle mit Gaze bedeckt und genässt.

72

Anschließend wurde die Wolle sehr leicht angefilzt (möglichstes Minimum) und vorsichtig mit dem Gaze ausgespült.

Für die weitere Verarbeitung musste das Inlay nur noch getrocknet werden.



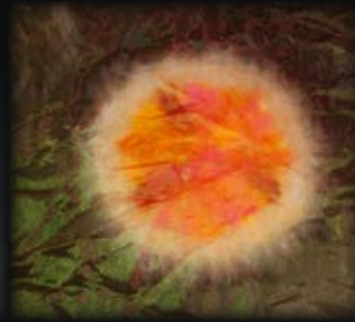
Weiter ging es mit dem Kugelvorfiz.

Für den Sensorbulbus wurde ein Resist mit einem Durchmesser von 35cm benutzt.

Begonnen wurde mit der Oberseite. Erst wurde eine Schicht weißer und eine Schicht gelber Wolle ausgelegt.

Dann wurde im äußeren Bereich eine Schicht leitender Wolle gelegt (1g), während der innere Bereich bunt ausgelegt wurde.

Im äußeren Bereich wurde noch eine weitere Schicht leitender Wolle ausgelegt (1,2g) bevor das Gesamte mit Gaze bedeckt wurde.



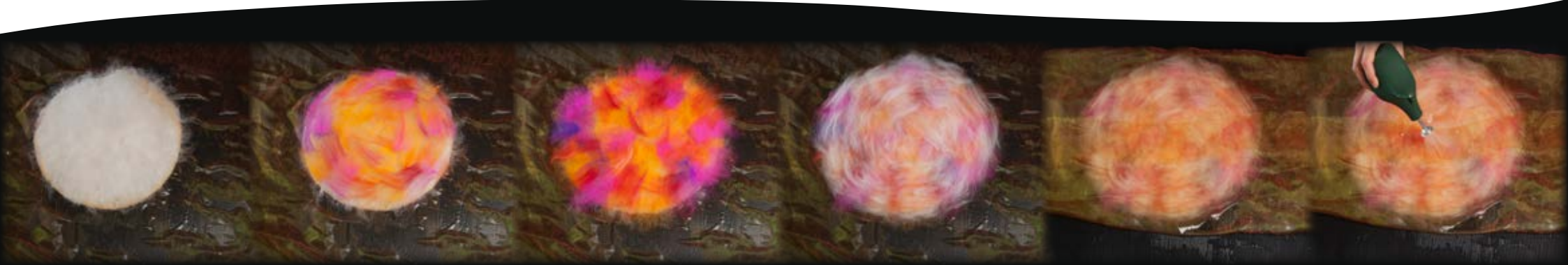


Nun wurde nur der äußere Bereich genässt bevor das Ganze gewendet wurde.

Nun wurde also die Rückseite ausgelegt: Erst eine Schicht weißer und eine leitender Wolle (2,25g), bevor der Wollüberstand der Vorderseite umgeklappt wurde.

Nach dem Umklappen wurden dann noch eine weitere Schicht leitender Wolle (2,25g), sowie zwei Schichten bunter Wolle ausgelegt.

Die finale, dünne Schicht Weiß der Rückseite wurde als letzte gelegt, bevor auch diese Seite mit Gaze bedeckt und vollständig genässt wurde.





Die Rückseite wurde leicht angefilzt, bevor das Ganze erneut zur Vorderseite gewendet wurde.

Der Überstand wurde umgeklappt. Eine bunte Schicht wurde noch ausgelegt sowie eine dünne weiße Schicht im äußeren Bereich: die Mitte sollte für das spätere Fingerloch leuchtend bunt bewahrt werden.

75

Eine bunte (teilweise fluoreszierende) Spirale wurde auf die gesamten Wollschichten gelegt. Nun wurde wieder Gaze ausgelegt, sowie das gesamte Filzstück genässt.

Die Vorderseite wurde etwas angefilzt, dann wurde das Filzstück erneut zur Rückseite gewendet.





Der Überstand wurde umgeklappt und die bunte Spirale der Rückseite hinzugefügt

Da auch die leitende Wolle im Innern genügend angefilzt sein muss, wurde auch ohne Gaze weitergefilzt, sobald die Spiralen nicht mehr verrutschen. Anschließend wurde auf der Unterseite ein kleines Kreuz geschnitten.



Nachdem alle Wollschicht ausgelegt wurden, konnte nun das gesamte Stück orrdentlich genässt und angefilzt werden.

Durch die geschnittene Öffnung konnte nun das Resist entfernt werden. Damit war das Kugelvorfelz fertig und musste nur noch für die weitere Bearbeitung zum Bulbus getrocknet werden.





Nun kam wieder das vorbereitete leitende Inlay sowie ein Hilfsstab zum Einsatz. Der Stab wurde in die Mitte der Oberseite des Bulbus gesteckt, exakt gegenüber der geschnittenen Öffnung (siehe Illustration) Mit der Wolle um sich herum wurde er durch das geschnittene Loch geführt, so dass die Innenseite des Bulbus nun exponiert lag. Dort wurde nun das Inlay drum herum gewickelt, so dass das leitende Garn an der Spitze hinaus schaut.

An den erwünschten Stellen wurde manuell gewalkt, damit sie enger werden.



Das gesamte Objekt wurde genässt. Das Inlay sowie die geraffte Wolle darunter, wurde um den Stab gefilzt. Die Wölbungen des Bulbus wurden mit den Händen oder auch Hilfsmitteln wie Suppenkellen geformt.

Der Bulbus wurde auch auf seine finale Basis gesetzt und formlich daran filzend angepasst. Als das Ergebnis zufriedenstellend schien, wurde das Filzobjekt gespült, 30 Minuten in eine Essiglösung gelegt und erneut gespült.



Nun wurde der Bulbus für die Trocknung vorbereitet. Erst wurde er mit Zeitungspapier gefüllt und auf seine Basis gesetzt.

Der Hilfsstab wurde für den Trockenvorgang in das Loch gesteckt, womit gesichert werden sollte, dass auch der tiefste Bereich nach der Trocknung nicht zu eng ausfällt.





ZUSAMMENSETZEN

Zuerst mussten die harte Basis und das Gehäuse für die LEDs und die restliche harte Elektronik vorbereitet werden. In diesem Fall wurden ein Pflanztopf (Gehäuse) und ein Unterteller (Basis) benutzt.



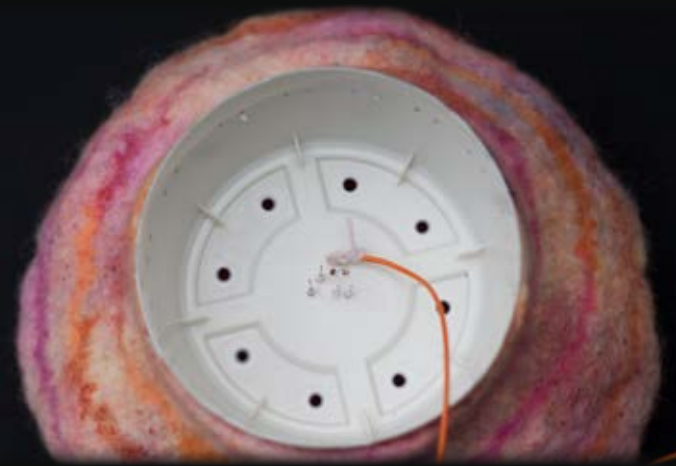
Das Gehäuse musste erst auf die entsprechende Höhe gekürzt werden. Die Basis erhielt mittig ein Loch mit einem etwas geringeren Durchmesser als der des Gehäuses. Auf diese Weise kann das Gehäuse mittig auf der Basis platziert werden. Der Innenraum des Gehäuses ist aber dann immer noch von unten erreichbar.

Löcher für das Annähen der Sensoren, das Festnähen des Filzstückes, Durchstecken der UV-LEDs und Durchziehen von Kabeln wurden gebohrt und geschmolzen.



Nun wurden erst der Bulbus und das Gehäuse zusammengesetzt:

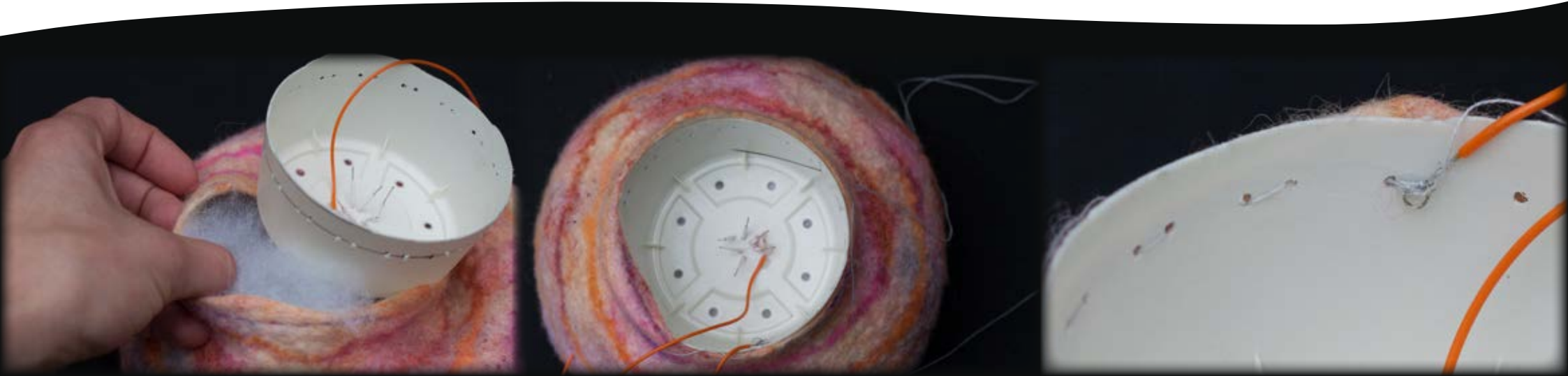
Innerhalb des Fingerloches sollten 3 UV-LEDs platziert werden. Hierzu mussten sie durch den Filz am Ende des Fingerloches und durch die Bohrlöcher des Gehäusesgezogen werden. Da sie dabei leitendes Filz durchqueren, welches einen Kurzschluss zwischen den UV-LED-Beinen herstellen würden, mussten diese erst mit Hilfe von Schrumpfschlauch abisoliert werden. Nachdem diese durch Filz und Gehäusewand gesteckt wurden, wurde das leitende Sensorgarn des Fingerloches durch das Gehäuse an ein vorbereitetes Kabel genäht.





Anschließend wurde der Bulbus mit Füllwatte ausgestopft bis eine angenehme Festigkeit erreicht war.

Nun konnte der Rand des Bulbus rund herum an das Gehäuse genäht werden. Hierzu wurde leitendes Garn benutzt, welches mit möglichst viel Kontakt mit der leitenden Filzebene des Bulbus vernäht wurde. Beide Garnenden wurden im Gehäuse an ein zweites vorbereitetes Kabel fest vernäht.



In den nächsten Schritten wurde die Basis vorbereitet:

Erst wurden zwei Ringe leitenden Kupfertapes von außen um die Basis gezogen. Diese zwei Bahnen sollten später als positive und negative Bahn der UV-LEDs agieren.

Anschließend wurde die vorbereitete Filzbasis anhand von Sprühkleber an die Kunststoffbasis befestigt.



Die Mitte der Filzbasis wurde für die Platzierung des Bulbus/Gehäuse aufgeschnitten.



Die UV-LEDS wurden durch die Filzbasis in die vorbereiteten Löcher der Kunststoffbasis gesteckt. Auf der unteren Seite wurden dann die Beine auf die entsprechenden Kupferbahnen geknickt, gekürzt und gelötet.



Der LED-Streifen wurde an der entsprechenden Stelle auf den Filz geklebt.
Die LED-Kabel wurden durch den Filz und die Basis gezogen.

Anschließend wurde das Gehäuse samt Bulbus auf der Basis platziert und festgeklebt.

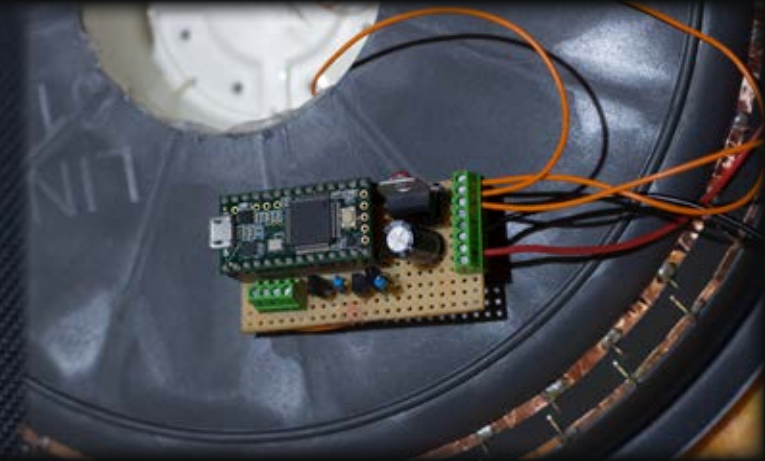
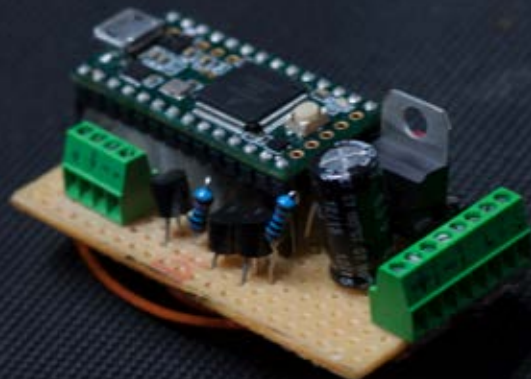


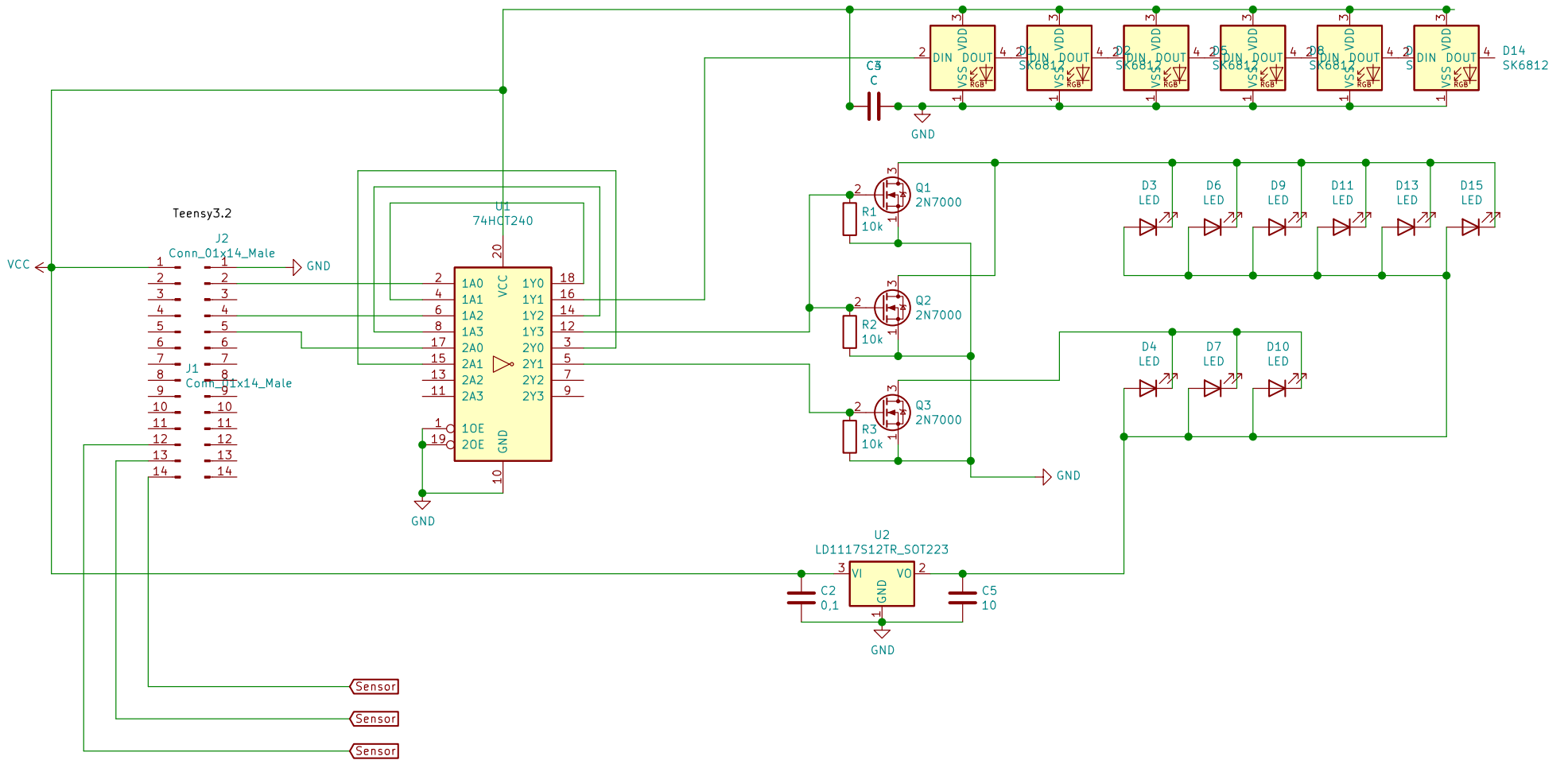
Schlussendlich wurde noch der Blendschutz an die Filzbasis angenäht, sodass er passend über den LEDs liegt.



Die vorbereitete Platine wurde dann vollständig an Sensoren, LEDs, UV-LEDs und ein USB-Stromzufuhrkabel gelötet.

Auf der nächsten Seite ist der Schaltplan der Elektronik abgebildet.





SENSORSCHWIERIGKEITEN UND NEUES KONZEPT

Die Integration von zwei konzentrischen Sensoren scheint problematisch zu sein. Der dargestellte Bulbus war bereits ein Neuversuch, welcher jedoch wie der Vorherige, technische Schwierigkeiten hervorruft.

Im ersten Fall hatten sich die leitenden Flächen im Filzprozess verbunden, hier wurde dies nach dem Filzprozess geprüft und ausgeschlossen, doch nachdem das gesamte Objekt zusammengesetzt wurde, beeinflussten sich die Sensoren dennoch zu stark für ein sicher differenzierbares Signal.

Ein Grund für die Beeinflussung könnte an den Kabeln liegen, welche sich an der Verbindung zum Controller zu nahe kommen. Dennoch sollte dieser Einfluss sich in Grenzen halten. Eine weitere Vermutung ist, dass die konzentrische Platzierung der Sensoren Probleme bereitet:

Die Methode der kapazitiven Sensorik, die hier eingesetzt wird, funktioniert jeweils nur mit einer Elektrode (self-capacitive touch sensing / Selbstkapazitive Berührungserkennung). Bei dieser Methode besteht ein höheres Risiko für gegenseitigen Beeinflussungen der Kapazität. Diese Form und Sensorpositionen scheinen also ungeeignet.

Aus diesem Grund wurde auch hier das Konzept verändert. Mit einem Sensor lässt sich das Konzept der Nachlichtlampe nicht zufriedenstellend ausführen, es werden mindestens zwei Sensoren dafür benötigt.

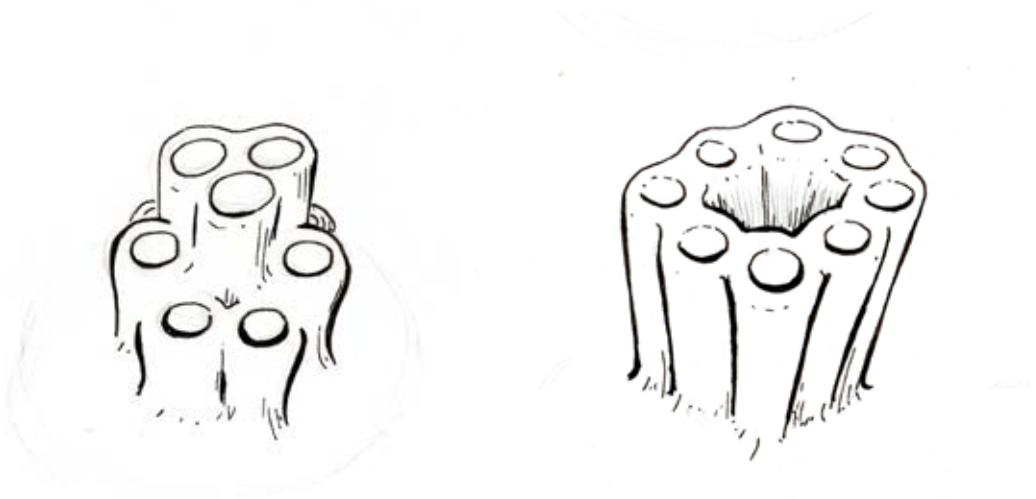
Bei dem Gedanken einer beruhigenden Wirkung bleibend, wurde die Funktion angepasst: Das Objekt soll zunächst energisch, schon fast hektisch leuchten. Durch die Berührung soll sich die Lichtanimation dann, am besten gemeinsam mit dem Interagierenden, langsam beruhigen. Ohne Berührung wird das Objekt langsam wieder aktiver, bis es wieder beachtet und berührt wird.



ROEHRENSENSOR

Aus der Inspiration der stieltellerförmigen Blüte und der Dahlie kam noch ein weiterer Lösungsansatz für eine an den Menschen angepasste Version:

Wenn die einzelnen Röhren für die Finger nebeneinander platziert werden, so entsteht durch die Gesamtstruktur Stabilität. So könnte man mehrere Fingerröhren aneinander planen.



FORMENTWICKLUNG

Erst einmal sollte ein Formversuch gestartet werden, um die benötigte Filztechnik zu erörtern. Hierzu mussten erst genügend Hilfsstäbe angefertigt werden.

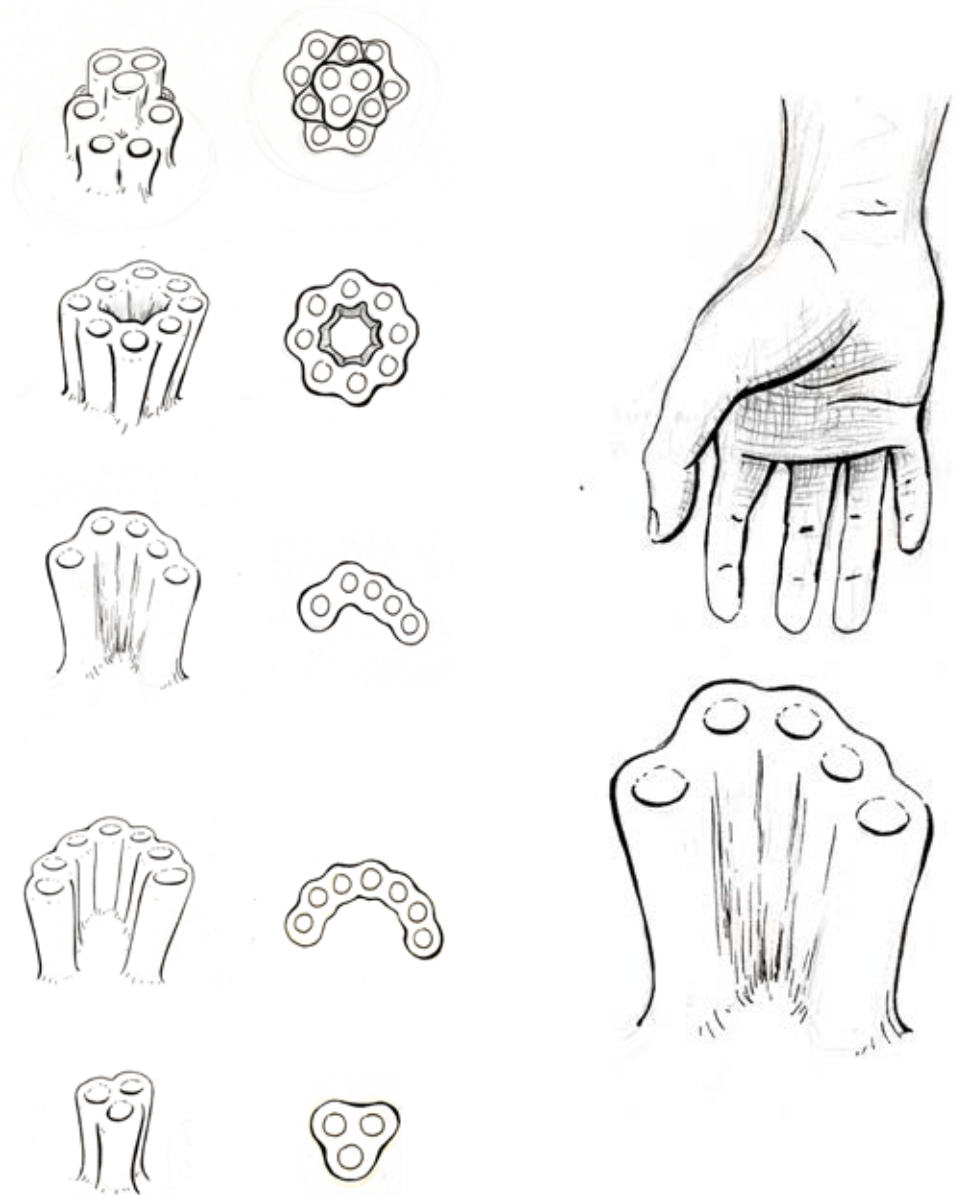
Der erste Versuch konnte zeigen, dass solch eine Form anhand von Stäben als Hilfsmittel so machbar ist. Wie vermutet, muss hier vorsichtig vorgegangen werden und ein einzelnes Walken der Röhren ist nicht möglich, wenn das Endobjekt ein Stück werden soll.

Die Anordnung der Röhren mit unterschiedlichen Längen führen zu unterschiedlichen Handhabungen. Man kann einerseits die drei mittleren Röhren einhändig betätigen. Die kürzeren Röhren können aufgrund der Höhe meist nur einzeln betätigt werden. Der Versuch, alle Finger einzuführen, wird etwas abenteuerlich, man sucht eine mögliche Kombination und verkrampft teilweise die Hände oder verzieht die Röhren.





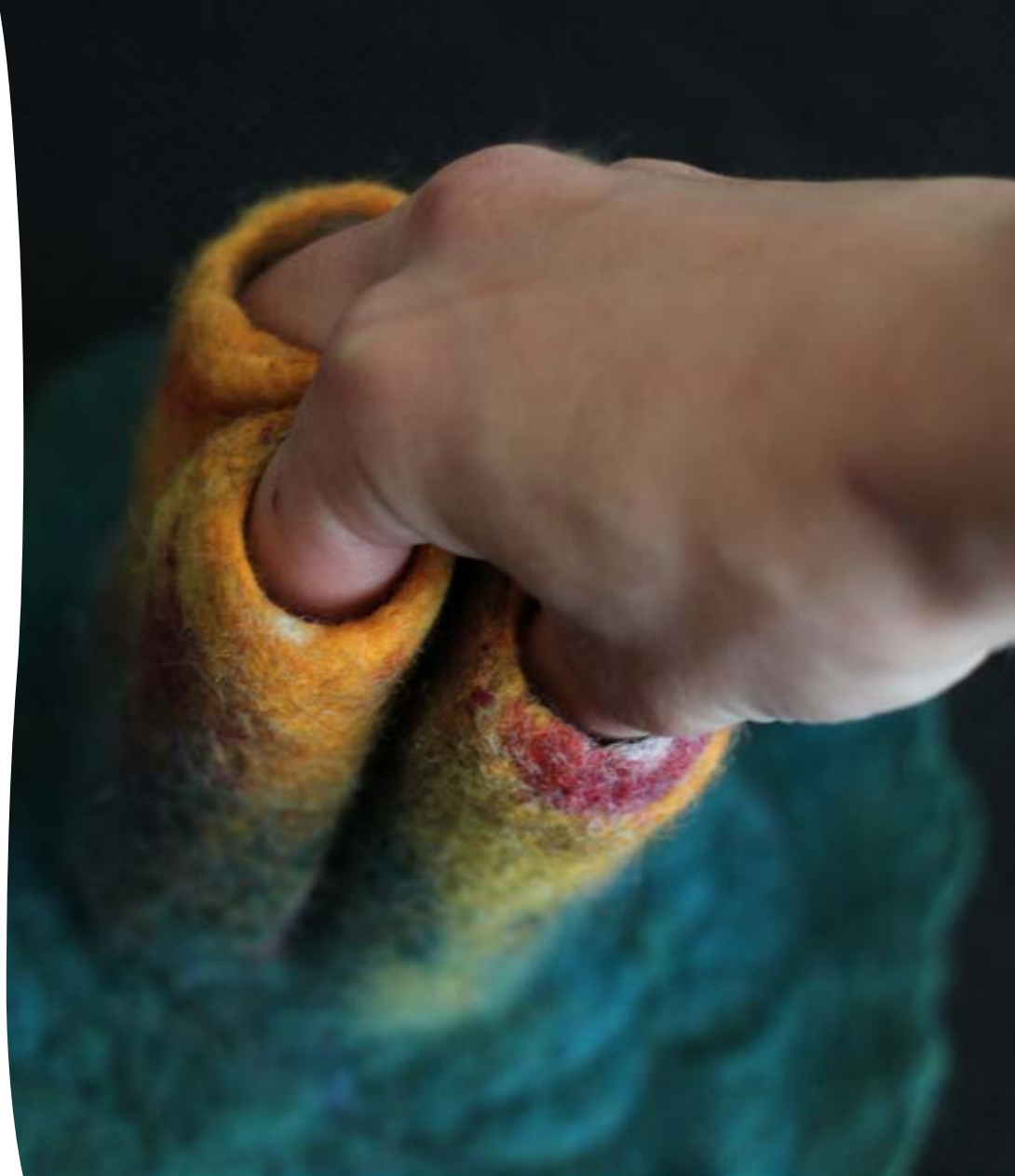
Beim nächsten Versuch wurde die Anordnung der einzelnen Röhren weiter bedacht. Es sollte möglich sein, alle Finger einer Hand in einem Mal und angenehm einzuführen. Die Anordnung der Röhren selbst sollte darauf hinweisen.



Im Laufe des Filzprozesses wurden erst Hilfsstäbe zwischen die einzelnen Röhren gesetzt, um einen passenden Abstand zwischen den Röhren zu erlangen. So sollten die 5 Röhren passend für das Einführen der 5 Finger gefilzt werden. Leider hat dies nicht wie erwartet funktioniert.

Die 5 Röhren haben sich im Prozess gleichmäßig in die Form eines Pentagons oder Fünfpass gesetzt. Die Wolle schrumpft im Filzprozess und die Elemente rücken dabei auf eine möglichst lückenmeidende Position näher aneinander. Zwar wirkt die Form dadurch sehr symmetrisch und ästhetisch (das Pentagon weist Proportionen des goldenen Schnitts auf), doch ist sie nicht ideal für die menschliche Hand mit ihrem gegenübergestellten Daumen. Das gleichzeitige Einführen der 5 Finger wirkt dadurch etwas krampfhaft.





Der nächste Röhrensensord wurde aus diesem Grund dann aus 6 Röhren zusammengefilzt. Das sechste, kürzere Rohr dient dabei als Abstandhalter zwischen den fünf Hauptröhren. Dadurch sind die 5 Hauptröhren in einer idealen Position, um die 5 Finger einer Hand einzuführen.





FUNKTION / KONZEPT

Die Vielzahl der Sensorröhren führte zu der Idee für die Demonstration ein spielerisches Objekt zu gestalten. Die Röhren könnten gemeinsam oder auch einzeln betätigt werden. Je nach Kombination könnte damit eine Lichtanimation beeinflusst werden. So könnte beispielweise Röhre 1 die Geschwindigkeit ändern, Röhre 2 die Richtung, Röhre 1 & 2 gemeinsam jedoch die Farbe usw. Für die verschiedenen Möglichkeiten und Kombinationen könnten unterschiedliche Effekte programmiert werden. So könnte die Neugier geweckt und der Interagierende zur Exploration der Funktionen bewegt werden.



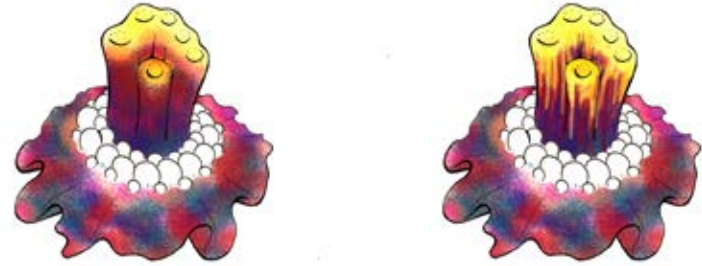
LICHT & FARBGEBUNG

Für die Innenseite der Röhren soll weiße Wolle benutzt werden. Diese ermöglicht eine maximale Reflektion des LED-Lichtes bis zum Röhreneingang und erlaubt es, die wahrgenommene Farbe flexibel durch die Beleuchtung zu kontrollieren.

Für die Öffnung / den Eingang der Röhren soll bunte Wolle in einer Signalfarbe eingesetzt werden, womit die Aufmerksamkeit weiter auf die Sensoren gelenkt werden soll. Je weiter es außen zur Basis geht, desto eher soll eine dunklere Farbe eingesetzt werden. Diese soll den Kontrast zur Signalfarbe der Öffnungen erhöhen.

Der Farbauswahl stehen unter diesen Voraussetzungen theoretisch keine Grenzen entgegen. Für das finale Objekt wurde die Kombination Dunkellila / Gelb mit etwas Orange und Rot für die Übergänge eingesetzt.

Die Programmierung der LED-Animation sollte nach Fertigstellung der Hardware erfolgen.



Für die Abschirmung der LEDs soll eine Filztechnik zum Einsatz kommen, welche in der explorativen Phase ausprobiert wurde.

Hierdurch würden Filzblasen entstehen, in denen die LEDs hineingesteckt werden können. So erhält man mit der Lichtstreuung einen biomorphen, organischen Eindruck.

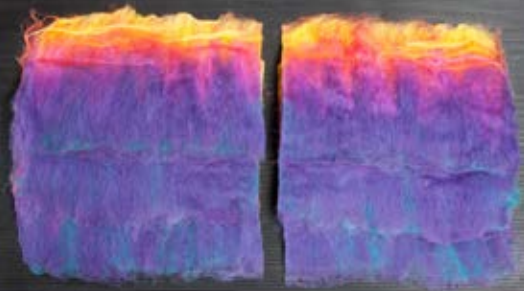


FILZPROZESS

Für das vollständige Röhrenobjekt müssen diverse Filzstücke vorbereitet werden:

- Das leitende Inlay für die Röhren x 6
- Das äußere Vorfilz der Röhren x6
- Der Basis Vorfilz
- Die Lichtblasen

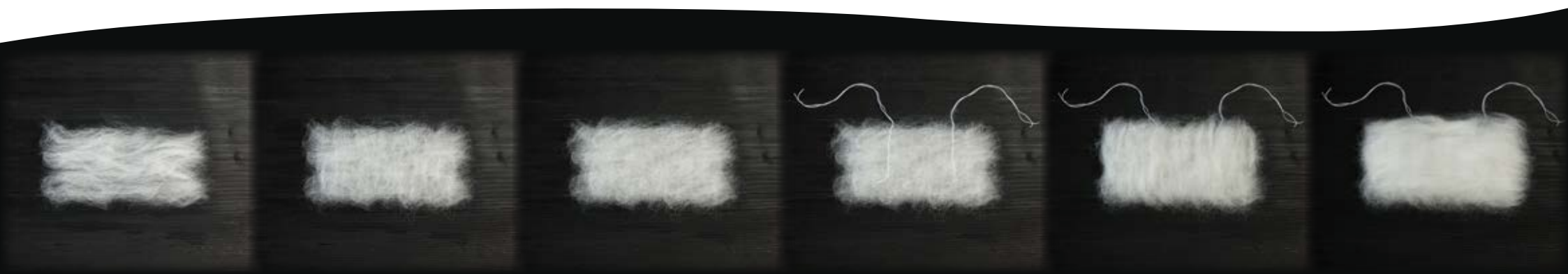
Begonnen wurde mit den leitenden Inlays.

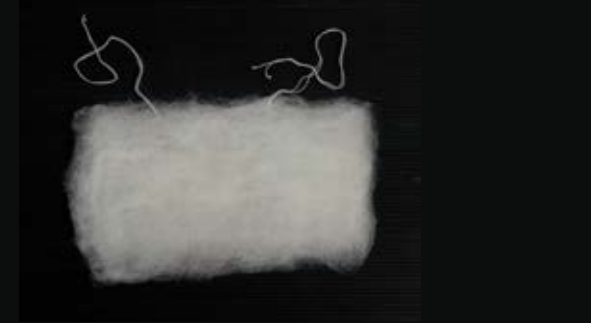
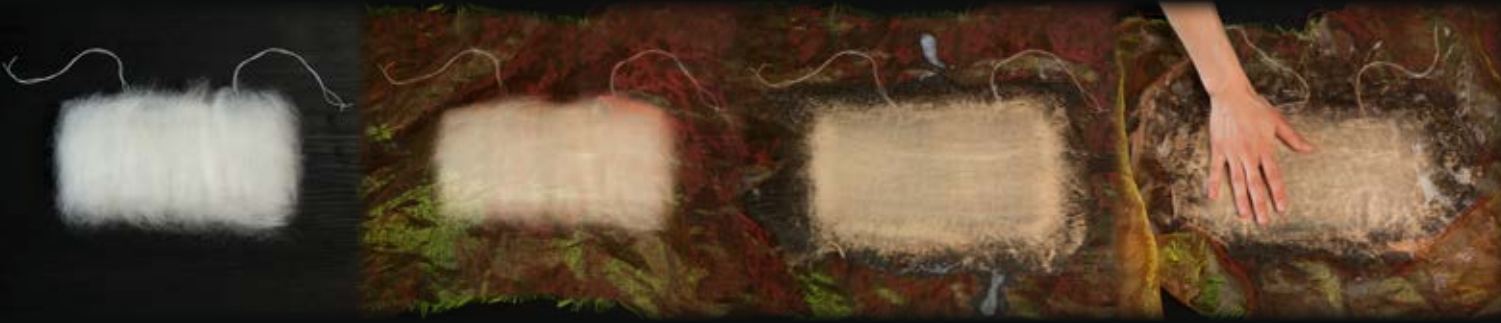


Je Vorfilz sollten zwei leitende Innenschichten für zwei Röhren entstehen.

Zuerst wurde eine Schicht weiße Wolle ausgelegt, dann zwei Schichten leitender Wolle.

Darauf wurde in der Mitte jeder Hälfte das Ende leitendes Garnes gelegt. Dieses sollte sicherstellen, dass die gesamte leitende Fläche mit dem Controller verbunden wird. Auch die Verbindung mit dem Controller wird dadurch vereinfacht. Darauf wurden dann noch zwei Schichten weißer Wolle ausgelegt.





Eine letzte Schicht weißer Wolle wurde noch ausgelegt, dann das Ganze mit Gaze bedeckt und nass angefilzt. Hierbei sollten die leitenden Fasern sich schon einmal verbinden, das Ganze sollte aber locker genug bleiben, um im weiteren Prozess sich weiter formen zu lassen und verbinden zu können.

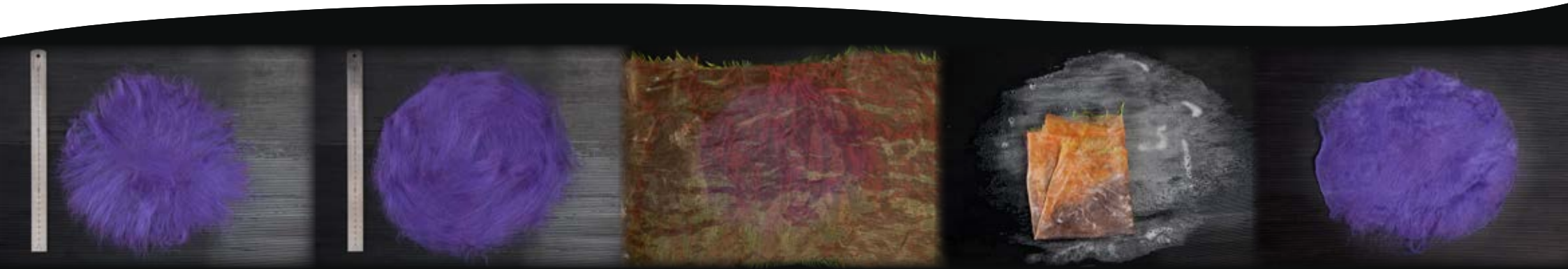
Das fertige Inlay wurde dann in das Gaze eingefaltet, gespült und trocken gelassen.

Nun wurde die Basis vorgefilzt.

108

Ausgelegt wurden nur zwei Schichten Wolle. Diese wurden mit Gaze bedeckt und nur leicht angefilzt.

Die Basis wurde dann in Gaze eingefalten, ausgespült und trocknen gelassen.



Als nächstes wurden die äußeren Vorfilze vorbereitet. Je Vorfilz sollten zwei äußere Schichten für zwei Röhren entstehen.

Zunächst wurde die Wolle ausgelegt:

Begonnen wurde mit einer Schicht russischem Karakul. Diese Wolle soll dem Endergebnis eine vielseitigere Oberfläche geben, etwas unebener, nicht ganz so glatt und weich. Darauf wurden dann mit feiner Kammzugwolle die weiteren Farbwollschichten gelegt.

Es wurden eine Schicht Karakul und drei bunte Wollschichten ausgelegt. Als Letztes wurden nur ein Paar Strähnen Wolle als Highlights gesetzt.





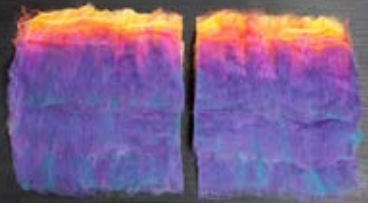
Die ausgelegte Wolle wurde anschließend mit Gaze bedeckt, genässt und angefilzt.

Auch hier durfte dieses Vorfilz nicht zu stark bearbeitet werden, damit es sich mit den anderen Vorfilzen noch verbinden würde. Der fertige Vorfilz wurde dann in Gaze eingefalten, ausgespült und trocknen gelassen.



Anhand der leitenden Inlays, der äußeren Vorfilze und der Basis konnten nun die Röhren zusammengesetzt und gefilzt werden.

Erst mussten die Vorfilze geteilt werden, sowohl die drei bunten äußeren, als auch die drei leitenden Inlays.

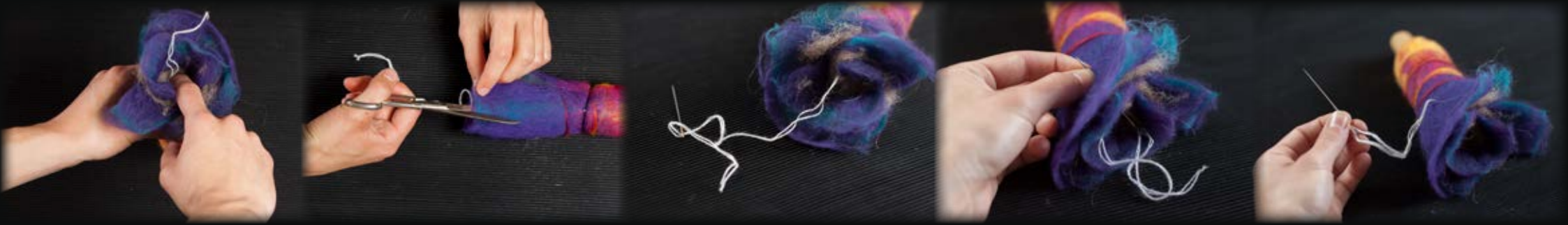




Für jede Röhre wurde ein leitendes Vorfilz und ein buntes Vorfilz um einen Hilfsstab gewickelt. In fünf Röhren wurde der Stab 11cm tief eingerollt, in der letzten nur 9 cm.

Kleine Gummis wurden benutzt um diese Rollen zusammenzuhalten. Zu einem späteren Zeitpunkt würden sie wieder entfernt werden.





Der leitende Filz wurde von unten fester an das Ende des Hilfsstabs gedrückt, womit eine unerwünscht elektrische Verbindung zwischen den Röhren im weiteren Filzprozess vermieden werden sollte. Der überstehende Filz wurde gezielt angeschnitten und ausgefächert.

Das leitende Garn wurde mit einer Nadel nah am Stabende durch die äußeren Vorfilzschichten gezogen.





Nun wurden die sechs Röhren samt der Hilfsstäbe auf der vorbereiteten Basis platziert. Die Röhren wurden jeweils so gedreht, dass das leitende Garn nach außen zeigt. Anhand von zwei Gummis wurde die Konstellation zusammengehalten. Die überstehende Basis wurde noch auf die Röhrenansätze geklappt

Das Ganze wurde dann mit einem Gaze umhüllt und mit Seifenwasser genässt.

Nun wurde über mehrere Stunden gefilzt. Erst vorsichtig mit Gaze, dann ohne. Die kleinen Gummis um die einzelnen Rollen wurden rechtzeitig vor dem Einfilzen entfernt, die großen Gummis öfters bewegt. Nach einiger Zeit konnten die Hilfsstäbe entfernt werden und die Röhren auch mit den Fingern von Innen gefilzt werden.

Das Objekt wurde so immer weiter gefilzt. Durch die komplexe Form und das Risiko, dass sich die leitenden Partien verbinden, konnte hier nur langsam und vorsichtig vorgegangen werden. Dabei musste auch darauf geachtet werden, die Verbindungsgarne nicht einzufilzen. Das Fertige Filzobjekt wurde dann gespült und trocken gelassen.





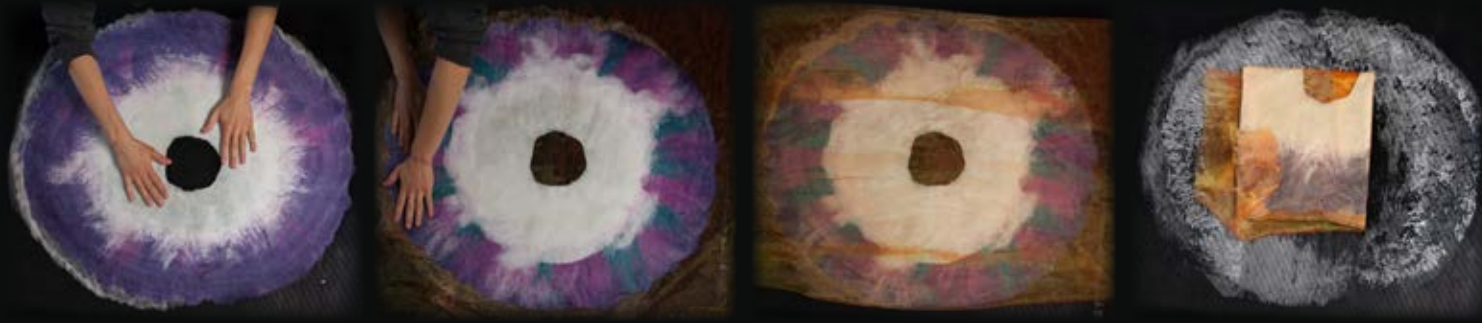


Nun mussten noch die Lichtblasen gefilzt werden. Hierzu musste erst ein flaches Vorfilz angefertigt werden. Dieses sollte noch weiter als die Blasen sein, um auch den Rest der Elektronikbasis verstecken zu können. Dazu wurde die Wolle auf der Fläche eines Kreisrings mit einem inneren Radius von 7cm und einem äußeren Radius von etwa 35cm ausgelegt. Dort, wo die Blasen sein sollten, wurde weiße Wolle benutzt. Für den äußeren überstehenden Rand wurden dunkle Lilatöne eingesetzt.

Erst wurden drei Schichten Wolle ausgelegt.

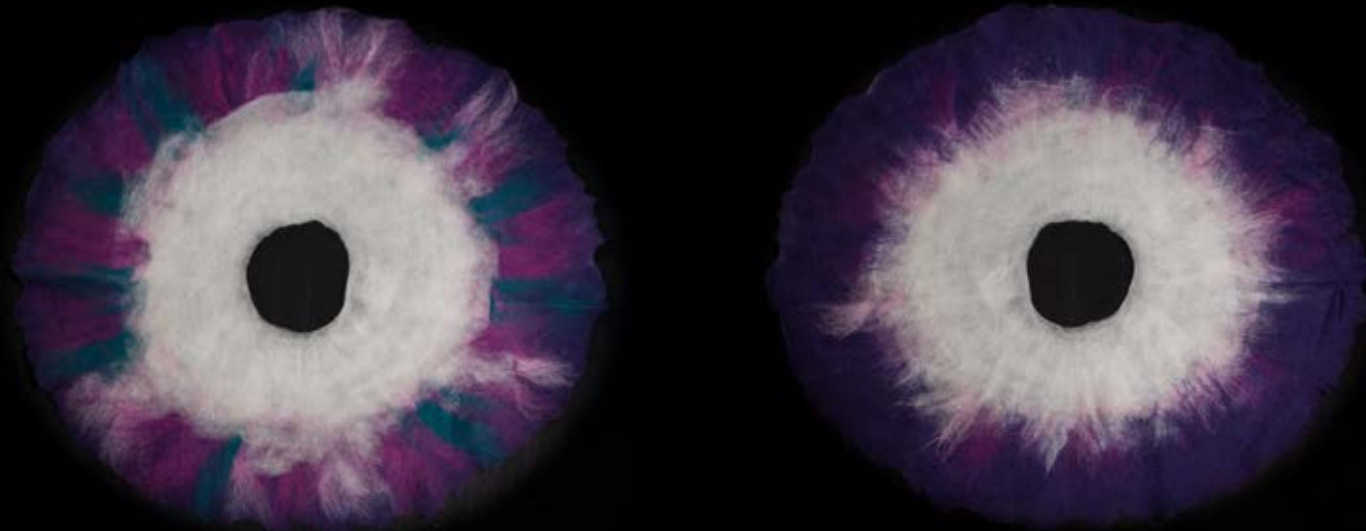
Diese wurden dann mit dem Gaze bedeckt, genässt und vorsichtig angefilzt.





Sobald die Wolle etwas angefilzt war, konnte auch ohne Gaze weitergefilzt werden. Der äußere Rand wurde etwas länger bearbeitet. Bei der weißen Partie hingegen galt es den richtigen Grad an Verfilztheit zu erlangen: fest genug um im weiteren Verfahren nicht durchzubrechen, locker genug um noch in Blasenform gefilzt werden zu können.

Nachdem der Filz den erwünschten Zustand erreicht hatte, wurde dieser in Gaze eingepackt, vorsichtig gespült und trocknen gelassen.



Nachdem das flache Vorfilz getrocknet war, konnte mit der nächsten Phase begonnen werden. Hierzu wurden Murmeln und kleine durchsichtige Haargummis eingesetzt.

Die Murmeln wurden anhand der Gummis in den Filz gebunden.





Erst wurden vier Murmeln an den Ecken gebunden. Anschließend wurden zwischen diesen jeweils drei weitere Murmeln eingebunden.

Um den ersten Murmelring wurde anschließend ein Ring mit größeren Murmeln gebunden. Der letzte wurde wieder mit kleinen Murmeln gebunden.

120

Das von den Murmeln überstehende Filz wurden dann in Folie eingepackt. Damit sollte ein weiteres Verfilzen des Randes im weiteren Prozess vermieden werden. Die Blasen hingegen wurden vorsichtig in ihre Form festgefilit.

Anschließend wurden sie für 30 Minuten in eine Essiglösung gelegt, ausgespült und in ihrer final vorgesehenen Form um die Sensorröhren trocken gelassen.



Nachdem die Blasen gut getrocknet waren, konnten die Murmeln wieder entfernt werden.

Das fertige Filzstück ist flexibel und kann für die weiteren Schritte einfach über die Sensorröhren gestülpt, aber auch wieder entfernt werden.









ZUSAMMENSETZEN

Nun sollten der Filz und die restliche Elektronik zusammengefügt werden.

Erst mussten die LED-Löcher in die einzelnen Röhren gestanzt werden.
Hierfür wurde ein 8mm Locheisen benutzt.

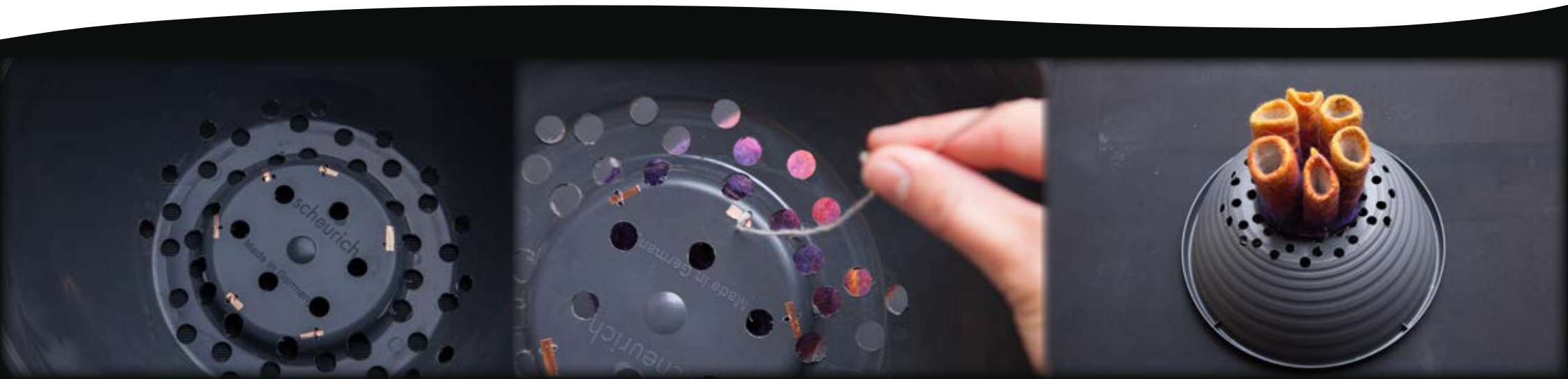


Anschließend wurden die Sensorröhen sowie die Lichtblasen auf ein Blatt gelegt. Anhand von Nadeln konnten die benötigten LED-Positionen auf das Blatt übertragen werden. Mit diesem konnten die entsprechenden Positionen weiter auf die Gehäuseschale übertragen werden.

Dort wurden die angezeichneten LED-Löcher dann gebohrt. Desweiteren wurden noch weitere kleine Löcher für das Annähen der Sensorkabel gebohrt.



Leitendes Kupfer-Klebeband wurde zwischen die Sensornahtlöcher geklebt.
Anschließend wurden die Sensorröhren an die Basis genäht. Dabei wurden
die einzelnen Verbindungsgarne um das Kupfer-Klebeband genäht.



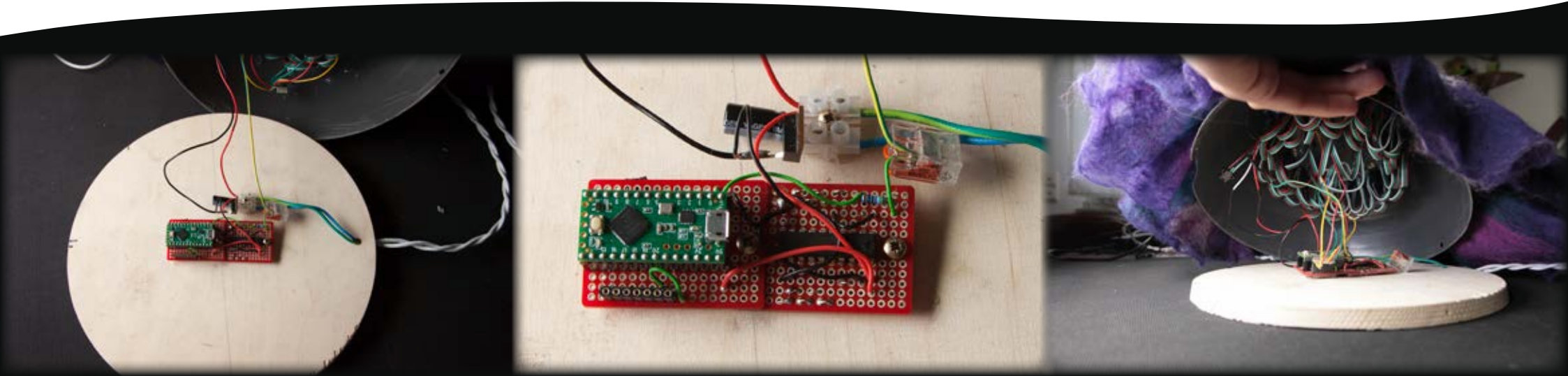
Die einzelnen LEDs der LED-Kette wurden dann durch die Bohrlöcher gesteckt und wenn noch nötig von innen festgeklebt.

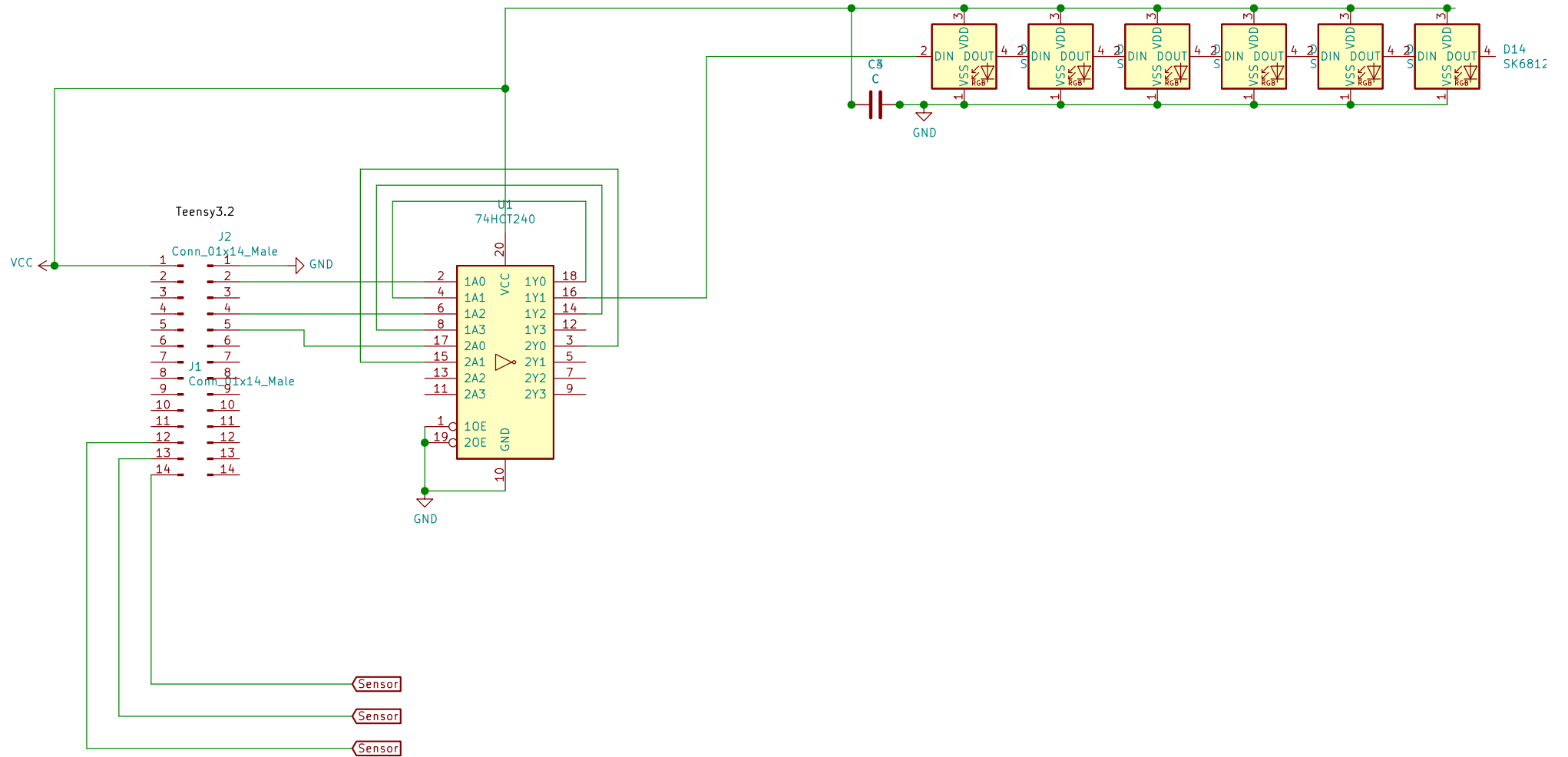
Schlussendlich wurden die Lichtblasen über die LEDs gestülpt und anhand von Sprühkleber fest an die Kunstschale fixiert. Auf diese Weise sollten diese auch bei größerem Umgang nicht von den LEDs abrutschen.



Der Rest der Elektronik wurde an eine Holzplatte fixiert, welche die Basis von von unten abschließt und eine Aufhängemöglichkeit beinhaltet. Die Kabel wurden dann miteinander verbunden.

Auf der nächsten Seite ist der Schaltplan der Elektronik abgebildet.









SENSORSCHWIERIGKEITEN UND NEUES KONZEPT

Bereits bei dem vorletzten Prototypen gab es mit der Sensorik Schwierigkeiten: Dort hatte sich leitende Wolle verschiedener Röhren miteinander verfilzt.

Zwar wurde aus diesem Grund die Filztechnik angepasst, leider stellten sich aber auch bei dem finalen Prototypen einzelne Sensoren als unzuverlässig heraus. Bei einem Sensor scheint das leitende Garn nicht zuverlässig mit dem Rest der leitenden Wolle verbunden zu sein, bei anderen sind die Werte nicht stabil.

Bei dieser komplexen Form scheint es viele potentielle Fehlerquellen zu geben, was die Diagnostizierung und besonders nachträgliche Verbesserung in manchen Fällen schlecht möglich macht. Es wurde versucht, so viele Fehlerquellen wie möglich zu beheben, dennoch reichte dies nicht, sodass zwei Sensoren unzuverlässig blieben.

Folgende Schwierigkeiten sind aufgetaucht oder könnten immer noch potenziell Probleme bereiten:

- Die Naht des Sensorgarns zum Kabel kann locker sein, hier kann nachgebessert werden.
- Das Sensor-Garn könnte beim Durchstechen der LED-Löcher im Filz aus Versehen durchtrennt worden sein. Dieser allgemeine Kontakt mit der leitenden Filzwolle ist nachträglich nicht mehr herzustellen, wodurch die Sensorröhre beispielsweise erst ab einer bestimmten Tiefe reagiert.
- Die Röhren könnten nicht fest genug gefilzt sein. Hierdurch könnte die leitende Filzwolle zu locker gefilzt sein und keine zuverlässig einheitliche leitende Fläche bilden. Da das feste Filzen der einzelnen Röhren sehr schwierig ist und nicht einzeln gewalkt werden kann, wäre dies möglich.
- Die Sensorkabel verlaufen zu nah zueinander in den Mikrocontroller.

Da nicht alle Fehlerquellen behoben werden konnten und keine Zeit mehr für einen erneuten Filzversuch zur Verfügung stand, musste das ursprüngliche Konzept abgeändert werden.

Zwar sind manche der Sensorröhren unzuverlässig, doch zusammengenommen agieren sie als sehr zuverlässiger Sensor. Somit wurden fünf der sechs Sensoren im Programmiercode zu einem zusammengerechnet: die fünf, welche für die fünf Finger einer Hand auch angedacht waren. Der Sechste, welcher auch ein zuverlässiges Signal abgibt, wurde als zweiter, einzelner Sensor eingesetzt.

So stehen also zwei Sensoren zur Verfügung sowie der Effektor: die LED-Ringe um die Röhren.

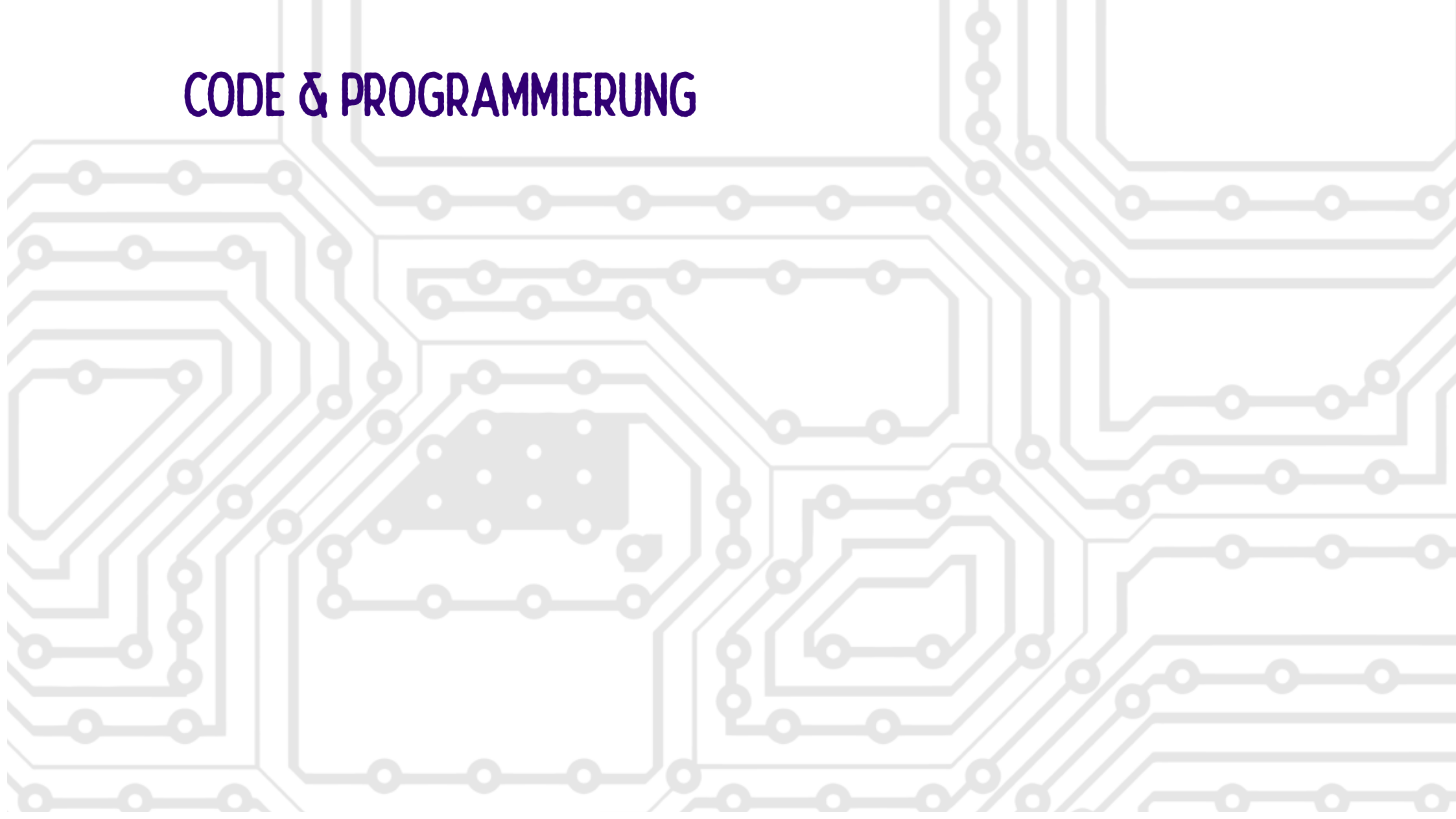
Eine Idee war es, dann einen aufwändigeren Schalter zu gestalten, wofür sollte dabei nicht festgesetzt werden. Die Fingerröhren zu betätigen, ist ein aufwändigerer, bewusster Prozess im Gegensatz zu einem Kippschalter oder einem Knopf. Man muss alle Finger gezielt einführen, was, ohne dem Objekt Aufmerksamkeit zu schenken, schwer zu erreichen ist.

Diese langsamere und achtsamere Interaktion, die hier gefordert wird, kann jedoch für bestimmte Situationen von Vorteil sein.

Die Röhren könnten beispielsweise als Schalter, oder auch Zwei-Schritte-Aktivierungsinterface für Funktionen agieren, welche wohlüberlegt sein sollten. Soll beispielsweise etwas unwiederbringlich gelöscht werden oder ein gefährliches Gerät gestartet werden, so kann man Unfälle vermeiden, wenn auch das Aktivieren nur in zwei Schritten und mit der entsprechenden Aufmerksamkeit erfolgen kann. Auch ungefährliche Funktionen könnten je nachdem von den Qualitäten einer langsamen, achtsameren textilen Interaktion an Wertigkeit gewinnen, so wie auch eine Verpackung ein Produkt aufwerten kann.

Der Fünffingersensor soll bei Berührung erst eine LED-Animation starten: Hierbei sollen wie bei einem Ladebalken die LEDs mit einer Farbe volllaufen. (Im Interface Design auch unter dem Begriff „determinate circular progress bar“ zu finden) In diesem Fall geschieht das dann so wie die LEDs verkabelt sind in Spiralförmigkeit. Sind die LEDs vollgelaufen, so wird der zweite Schritt der Aktivierung gefordert. Hier muss dann nur noch anhand des zweiten einzelnen Röhrensensors die Aktivierung bestätigt werden.

CODE & PROGRAMMIERUNG

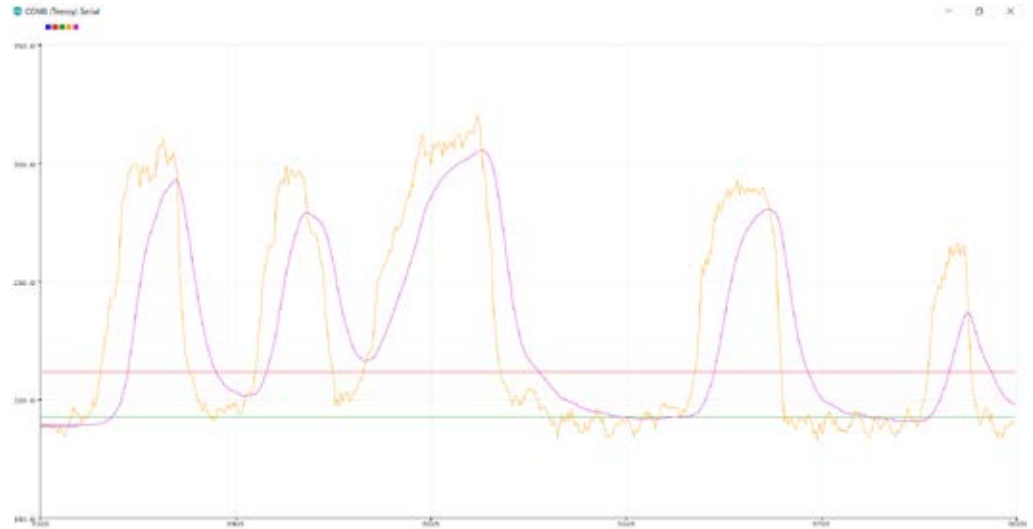


GLAETTUNG DER SENSORWERTE

Obwohl die Sensorwerte durch entsprechende Hardware optimiert werden, bleiben doch immer gewisse Störfaktoren. Allein durch die unregelmäßig gefilzten Sensoren entstehen zwangsweise Interferenzen. Um die Werte dennoch gut nutzen zu können, müssen diese durch Software anhand von Algorithmen geglättet werden.

Als effektiv und flexibel stellte sich der sogenannte Kalman Filter dar. Die Werte können sehr weich geglättet werden, jedoch mit Einbußen in der Reaktionszeit. Hier gilt es eine gute Balance zu finden.

Für die Glättung der Werte wird hier die Open Source „Simple Kalman Filter Library“ von Denys Sene eingesetzt. (Sene, 2018)



Sensorwert : gelb
Geglätteter Sensorwert: lila
Reaktionsschwellen: grün & rot

SENSORKALIBRERUNG

Die Sensoren und die entsprechenden Schwellenwerte müssen anhand von Software kalibriert werden, denn sowohl mechanische als auch Luftfeuchtigkeit oder andere elektrischen Störfaktoren verändern die durchschnittlichen Werte über die Zeit. Ein manuelles Ermitteln und Eingeben der Schwellenwerte bei der Herstellung würde aus diesem Grund nur kurzzeitig eine Lösung sein.

Für die Kalibrierung wird nun etwas Code eingesetzt, abgeleitet vom "Asynchronous Touch Sensing" Code. (Bryan 42, 2018)

Während der Kalibrierung werden die Berührungsschwellenwerte aller Sensoren frisch berechnet. Diese werden proportional zum aktuellen Ruhestandswert gesetzt.

LED ANIMATION

Im Falle dieser Prototypen wurde Licht als Effektor für die Sensoren gewählt. Aus diesem Grund beeinflussen die Sensoren im Code das Verhalten der LEDs. Es soll aber daran erinnert werden, dass jegliches elektronisch ansteuerbare Bauteil mit den Sensoren verbunden werden könnte.

Für jedes Lichtobjekt wurden entsprechende Animationen und Verhalten programmiert. Diese sind jedoch nur ein Beispiel und es bestehen unendliche Möglichkeiten für andere Animationen und Reaktionsweisen der Lichtobjekte.



FINALE OBJEKTE



STERNSENSOR











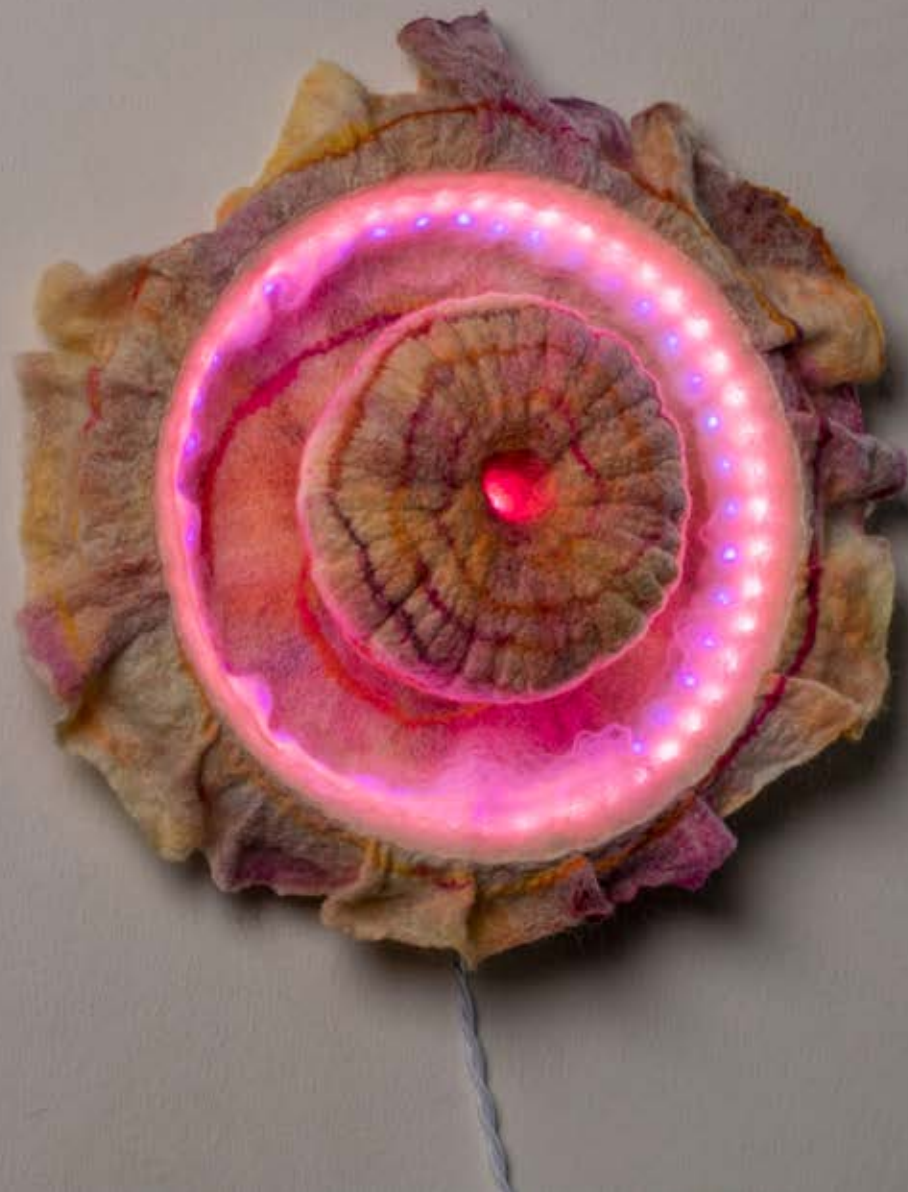






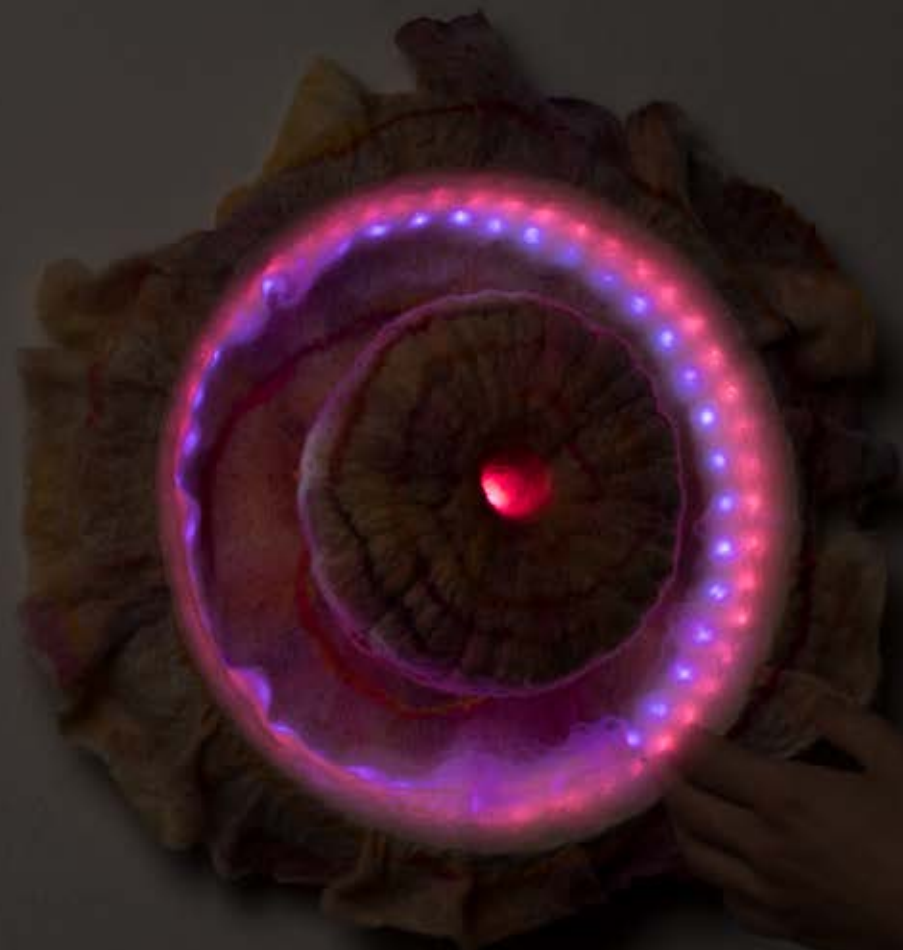


BULBUSSENSOR













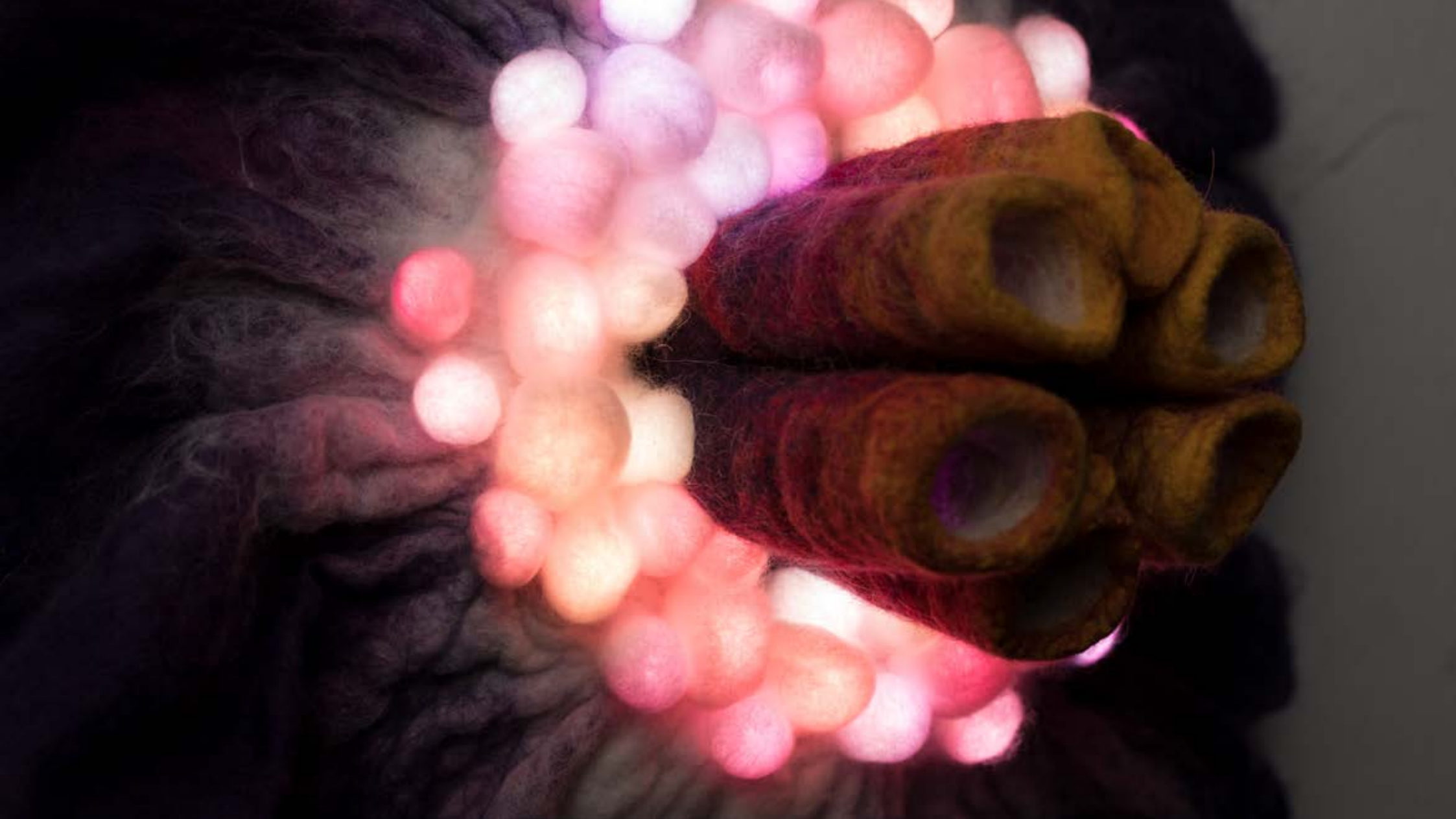


ROEHRENSENSOR























ERKENNTNISSE

Im Folgenden werden die allgemeinen Erkenntnisse, welche aus dieser Arbeit herausgezogen wurden, zusammengetragen. Es werden daraufhin auch potenzielle weitere Fragestellungen und Forschungsansätze angesprochen, welche für eine Weiterführung dieser Thematik von Interesse wären.

ALLGEMEINE TECHNISCHE ERKENNTNISSE

- Mehrere nah aneinander liegende Sensorzonen sind anhand der Filztechnik schwierig zu erstellen. Das Risiko ist durch die Herstellungsmethode sehr hoch, dass sich diese im Filzvorgang verbinden. Hierfür ist beispielsweise leitender, gewobener Stoff geeigneter, dieser kann exakt geschnitten und platziert werden. Somit ist Filz als Material für Slider oder Matrizen ungeeignet. Es eignet sich damit auch nicht für die genauere Methode der kapazitiven Sensorik, welche mehrere nah aneinander liegende Elektroden benötigt, dem „mutual capacitance sensing“, welches beispielsweise in Touchscreens eingesetzt wird.
- Komplizierte Formen mit mehreren unterschiedlichen Sensoren bergen das Risiko, sich gegenseitig kapazitiv zu beeinflussen. Bei konzentrisch angelegten Sensoren wie etwa beim Bulbus beeinflussen sich diese gegenseitig sehr stark. Hier würde sich für die Zukunft eine tiefere technische Untersuchung der kapazitiven Eigenschaften und der gegenseitigen Beeinflussung der elektrischen Felder bei dreidimensionalen Formen lohnen. Solche Untersuchungen konnten im Laufe dieser Arbeit nur für zweidimensionale Formen gefunden werden.
- Die Schnittstelle zwischen der weichen und der harten Elektronik ist die größte potenzielle Schwachstelle. Dies sollte jedoch kein Problem mehr darstellen, sobald der Rest der Elektronik in weicher Form vorliegt.

FILZTECHNISCHE OPTIMIERUNGEN UND HINWEISE

- Leitende Wolle verfilzt nicht so gut wie etwa feine Merinowolle und kann nachträglich sehr schlecht allein angefilzt werden. Es hilft die leitende Wolle zwischen feine, gut filzende Wolle auszulegen, somit erhält man am Ende eine gleichmäßigere leitende Fläche.
- Soll eine gesamte leitende Fläche später mit leitendem Garn verbunden werden, ist es von Vorteil das leitende Garn direkt mit einzufilzen. Das ermöglicht eine sicherere Verbindung zu der gesamten leitenden Fläche. Außerdem kann es bei komplexen Formen ein aufwändiges Annähen des Garnes an unzugängliche Stellen ersparen.
- An der Schnittstelle zwischen der weichen und der harten Elektronik muss exakt bearbeitet und bestenfalls bei jedem größeren Zwischenschritt die Verbindung geprüft werden. Notfalls muss nochmals mit leitendem Garn nachgebessert werden.
- Leitendes Garn verknotet nicht sehr sicher und fest. Klebstoff auf leitenden Nähten selbst ist aber zu vermeiden, es kann sich zwischen das Garn setzen und isolieren. Um eine Naht abzusichern, sollte das Garnende etwas von der Naht entfernt geklebt werden. Eine Ausnahme bilden hier leitende Klebstoffe.
- Je nachdem wie der Sensor eingesetzt werden soll, kann die Wolle exponiert (äußerste Schicht) oder integriert (unter anderen Schichten Wolle) gefilzt werden.
- Ist die leitende Wolle exponiert, so eignet sie sich besser für eine reine Berührungserkennung, besonders bei mehreren naheliegenden Sensoren. Mit exponierter Wolle kann auch die Nähe besser von der Berührung unterschieden werden, sollte dies erwünscht sein.
- Ist die leitende Wolle integriert besteht die freie Wahl der Oberfläche. Außerdem eignet sich der Sensor dann besser für analoge Werte, die Ausschläge der Werte sind weniger drastisch. Besitzt man einen dreidimensionalen Sensor, welcher von mehreren Seiten berührt werden kann, doch nur an bestimmten Stellen reagieren sollte, so muss die leitenden Fläche dort wo die Berührung erkannt werden soll möglichst weit an der Filzoberfläche sein, wenn nicht sogar exponiert.

WEITERE EXPLORATIONS- ODER VERTIEFUNGSMOEGlichkeiten

- Wie verhalten sich die elektrischen Felder der kapazitiven Sensoren bei verschiedenen dreidimensionalen Formen? Quantitative Untersuchung zu den Sensoreigenschaften bei unterschiedlichen Formen und Mengen leitender Wolle.
- Qualitative und auch quantitative Untersuchungen zu den psychologischen und physiologischen Effekten der Interaktion mit gefilzten Berührungssensoren. Vergleich mit harter Elektronik und Vergleich verschiedener Zielgruppen mit unterschiedlichen Vorerfahrungen mit Technologie.
- Wie könnten textile Berührungssensorflächen möglichst ideal vom Rest der Elektronik trennbar und somit waschbar gestaltet werden?
- Welche weiteren Formen könnten erprobt werden? In dieser Arbeit konnten nur einige Ideen angegangen und entwickelt werden.
- Welches Potential bietet fluoreszierend gefärbte Wolle?

FAZIT

Mit der Entwicklung dieser drei Prototypen konnten viele Erkenntnisse im Prozess gewonnen werden. Herstellungsmethoden für die Form und Integrationstechniken für die Sensorik wurden erprobt und weiterentwickelt. Hierbei konnten auch die Schwächen gefilterter Berührungssensoren herausgestellt werden, womit es für gewisse Anwendungszwecke ausgeschlossen werden kann.

Anhand der finalen Prototypen lässt sich das Potential dreidimensionaler textiler Berührungssensoren demonstrieren. Der Unterschied zu traditionellen Berührungssensoren kann erprobt und erlebt werden, womit zu potenziellen neuen Ideen und Anwendungszwecken inspiriert werden soll.

Aufgrund der Corona-Pandemie konnten die Objekte noch nicht an einem größeren Publikum getestet werden. Einzelne Testpersonen haben jedoch sehr positiv überrascht auf die Objekte reagiert. Erstmals waren die Menschen ungläubig, dass die Berührung eines textilen Objektes Elektronik beeinflussen kann. Im Anschluss wurde dann mit den Objekten gespielt.

LITERATURVERZEICHNIS

- Aouf, R. S. (12. September 2019). 3D printing meets felt in new additive manufacturing technique. Von Dezeen: <https://www.dezeen.com/2019/09/12/robotic-needle-felting-taubman-college-design/> abgerufen
- Brauner, P., van Heek, J., Ziefle, M., Hamdan, N. A.-h., & Borchers, J. (2017). Interactive FURniTURE. the Interactive Surfaces and Spaces, (S. 151–160). Aachen. doi:10.1145/3132272.3134128
- Breitmaier, E. (1999). Terpene. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag. doi:10.1007/978-3-322-94727-7
- Bryan 42. (07. Dezember 2018). Thread: Asynchronous (poll based) touch sensing. Von pjrc Forum: [https://forum.pjrc.com/threads/54527-Asynchronous-\(poll-based\)-touch-sensing?highlight=asynchronous+touch](https://forum.pjrc.com/threads/54527-Asynchronous-(poll-based)-touch-sensing?highlight=asynchronous+touch) abgerufen
- Byers, K. J., & Bradshaw, H. D. (2017). Rational design of a novel pollinator interaction. doi:10.1101/123604
- Dafni, A., & Giurfa, M. (1999). The Functional Ecology of Floral Guides in Relation to Insects Behaviour and Vision. In S. P. Wasser, Evolutionary Theory and Processes-Modern Perspectives (S. 363–383). Dordrecht: Springer.
- Fritz Becker GmbH & Co. KG. (2020). Becker Brakel - Formfleece. Von <https://www.becker-brakel.de/en/formfleece/> abgerufen
- Hornecker, E. (2011). The role of physicality in tangible and embodied interactions. interactions, S. 19. doi:10.1145/1925820.1925826
- How to get what you want. (2020). Von Kobakant: <https://www.kobakant.at/DIY> abgerufen
- Kwon, S., Kim, H., Choi, S., Jeong, E. G., Kim, D., Lee, S., . . . Choi, K. C. (2018). Weavable and Highly Efficient Organic Light-Emitting Fibers for Wearable Electronics: A Scalable, Low-Temperature Process. Nano letters, S. 347–356. doi:10.1021/acs.nanolett.7bo4204
- Lee, M. R., Eckert, R. D., Forberich, K., Dennler, G., Brabec, C. J., & Gaudiana, R. A. (2009). Solar power wires based on organic photovoltaic materials. Science, S. 232–235. doi:10.1126/science.1168539

- Leonard, A. S., Brent, J., Papaj, D. R., & Dornhaus, A. (2013). Floral nectar guide patterns discourage nectar robbing by bumble bees. PLoS ONE.
- Peñalver, E., Labandeira, C. C., Barrón, E., Delclòs, X., Nel, P., Nel, A., . . . Soriano, C. (2012). Thrips pollination of Mesozoic gymnosperms. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 8623–8628. doi:<https://doi.org/10.1073/pnas.1120499109>
- Rahner, M. (2017). PraxisWissen Filzen. Stuttgart: Frechverlag GmbH.
- Schneegass, S., & Amft, O. (2017). Smart Textiles. Springer International Publishing. doi:[10.1007/978-3-319-50124-6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-50124-6)
- Segelken, R. (14. November 2001). Same flower chemicals tell some insects „this bud's for you,“ but deter others with toxic warning, Cornell scientists discover. Abgerufen am 15. 05 2020 von <https://news.cornell.edu/stories/2001/11/flower-chemicals-invite-some-warn-others>
- Sene, D. (23. April 2018). SimpleKalmanFilter. Von github.com: <https://github.com/denyssene/SimpleKalmanFilter> abgerufen

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- 11 Portulakröschen
Online verfügbar unter : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yellow_Portulaca_flower_in_sunshine,_on_black_background.jpg
- 12 Blumen eines Verkaufsstandes
Online verfügbar unter : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Quito,_Flowers_of_Ecuador,_fresh_flowers.jpg
- 12 Hummeln auf einer Echinacea heliantheae
Online verfügbar unter : <https://pixnio.com/fauna-animals/insects-and-bugs/bees-insects-pictures/pollen-bee-nature-garden-summer-insect-macro-flower>
- 16 Normale und UV-Photographie einer Lilie
Online verfügbar unter : [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yellow_Day_lily_\(Hemerocallis_lilioasphodelus\)_spectral_comparison_Vis_UV_IR.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yellow_Day_lily_(Hemerocallis_lilioasphodelus)_spectral_comparison_Vis_UV_IR.jpg)
- 17 Durchsichtiges Klebeband
Online verfügbar unter : <https://www.noon.com/uae-en/invisible-tape-clear/N16899450A/p>
- 17 Bodenmarkierungen in Schuhabdruckform
Online verfügbar unter : https://www.5ssupply.com/?attachment_id=6756#main
- 17 Landebahn mit Markierungen
Online verfügbar unter : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brussels_Airport_Runway_25_R.jpg
- 18 Vergleich des Blütenbesuchs bei verschiedene Blütenfarben
Byers, K. J., & Bradshaw, H. D. (2017). Rational design of a novel pollinator interaction. doi:10.1101/123604
- 19 Schaltfläche eines öffentlichen Busses
Online verfügbar unter : [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:KCM_XT40_Dash_\(15555593670\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:KCM_XT40_Dash_(15555593670).jpg)
- 25 Formfleece Objekt - Seminar der Universität der Künste Berlin in Kooperation mit Becker KG
Online verfügbar unter : <https://design.udk-berlin.de/2015/12/materiallabor-formfleece/>

- 25 CNC-Nadelfilzer des Taubann College & damit gefilzter Sitzsack
Online verfügbar unter : <https://www.dezeen.com/2019/09/12/robotic-needle-felting-taubman-college-design/>
- 29 Hundzahn-Lilie
Online verfügbar unter : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2011-04-22_Blume_Pflanze_Erythronium_dens-canis_Kondo_-_Hundzahn-Lilie_DSCN0031.JPG
- 58 Schmetterling auf Lavendelblüte
Online verfügbar unter : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vanessa_cardui_on_Lavandula_angustifolia-2459.jpg
- 58 Schmetterlinge auf Blüten in der Bodenseeregion
Online verfügbar unter : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schmetterling_auf_Bl%C3%BCte_3.jpg
- 94 Pompon Dahlien
Online verfügbar unter : <https://pixabay.com/de/photos/dahlia-blumen-blumen-bl%C3%BCte-pflanze-4338044/>

- 94 Großfiedrige Dahlie
Online verfügbar unter : https://de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:Dahlia_pinnata.JPG
- 135 Seamless Circuit Texture
Online verfügbar unter : <https://freesvg.org/seamless-circuit-texture>

Alle weiteren Abbildungen (Fotos, Illustrationen, Screenshots) wurden eigenständig angefertigt.

SELBSTSTAENDIGKEITSERKLAERUNG

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 30.06.2020

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carina S', written in a cursive style.