



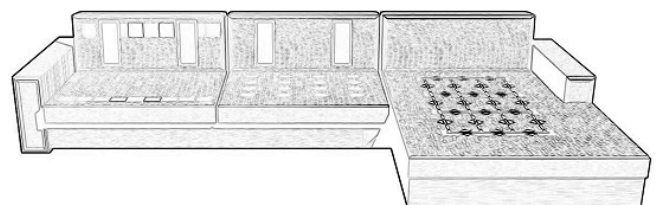
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Ann-Kathrin Weiss

Smart Textiles:
Entwicklung textiler Sensoren für intelligente Umgebungen
am Beispiel eines Sofas

*Fakultät Design, Medien und Information
Department Design*



Ann-Kathrin Weiss

Smart Textiles:
Entwicklung textiler Sensoren für intelligente Umgebungen
am Beispiel eines Sofas

Bachelorthesis eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Bekleidung - Technik und Management
am Department Design
der Fakultät Design, Medien und Information
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuende Prüferin: Prof. Dipl.-Ing. Stefanie Bahlmann
Zweitgutachter: Thomas Meyer zur Capellen

Abgegeben am 10. März 2011

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Smart Textiles	2
2.1	Begriffserläuterung	2
2.2	Smart Textiles als branchenübergreifendes Zusammenspiel	3
2.3	Smart Textiles und Ubiquitous Computing	3
2.4	Smart Textiles im Kontext des Living Place	4
3	Status Quo der textilen Sensortechnologie	7
3.1	Textile Sensoren	7
3.2	Vergleichbare Projekte mit Sensortechnologie	8
3.2.1	Wealthy	8
3.2.2	Textile Tastatur	10
3.2.3	SeatSen	10
3.2.4	Insitex	12
3.2.5	Textiler Sensoranzug	13
4	Technologien und Komponenten der Sensorkissenbezüge	14
4.1	Technologien	14
4.1.1	Kapazitive Sensoren	14
4.1.2	Schirmung	14
4.1.3	Resistive Sensoren	15
4.2	Textile Komponenten	15
4.3	Elektronische Komponenten und Software	18
4.3.1	Kapazitiver Sensor	18
4.3.2	Resistiver Sensor 1 und 2	19
4.3.3	Software	20
5	Physikalische Prüfungen oberflächenleitfähiger textiler Flächengebilde und Fäden	21
5.1	Scheuerbeständigkeit	23
5.2	Zugfestigkeit	26
5.3	Elektrischer Oberflächenwiderstand	28
5.4	Elektrische Kapazität	31
5.5	Fixiertest	35
5.6	Auswertung der Prüfungsergebnisse	36
6	Mustererstellung	38
6.1	Kapazitiver Sensor	38
6.1.1	Äußere Elektrode und Schirmung	39
6.1.2	Muster 2: Innere Elektrode (Fläche)	40
6.1.3	Muster 3: Innere Elektrode (Streifen)	41
6.1.4	Muster 4: Verarbeitungsvarianten der Schirmung	43
6.1.5	Muster 5: Innere Elektrode, Guard und Schirmung	46
6.2	Resistiver Sensor 1: Dreilagengekonstruktion	48

6.2.1	Muster 1: Sensor-Matrix nach Plusea	49
6.2.2	Muster 2: Verarbeitungsvarianten der Sensorfäden	52
6.3	Resistiver Sensor 2	55
6.3.1	Muster 1: Applizierte Mäanderform mit Zwischenlage	55
6.3.2	Muster 2: Applizierte Spiralform	56
6.4	Anschlüsse und Leiterbahnen	57
6.4.1	Metalldruckknöpfe	57
6.4.2	Crimpen	58
6.4.3	Leitfähige Klettverschlussverbindung	59
7	Der Prototyp	61
7.1	Kapazitiver Sensor	61
7.2	Resistiver Sensor 1	65
7.3	Zusammenfassung der Prototypenfertigung	69
8	Gegenüberstellung der Sensortechnologien	71
9	Ausblick	74
	Glossar	77
A	Anhang	79
A.1	Materialübersicht	79
A.2	Prüfung der Scheuerfestigkeit	80
A.3	Prüfung der Zugfestigkeit	81
A.4	Oberflächenwiderstandsprüfung (unbehandelt)	82
A.5	Oberflächenwiderstandsprüfung (behandelt)	83
A.6	Kapazitätsprüfung	84
A.7	Belastungsstufen bei Plusea	87
A.8	Abkürzungsverzeichnis	90
	Abbildungsverzeichnis	91
	Tabellenverzeichnis	93
	Literaturverzeichnis	95

Danksagung

Die vorliegende Arbeit ist auf Grund der Zusammenarbeit mit Oliver Dreschke (Informatik) in dieser Form möglich gewesen. An dieser Stelle sei ihm für die produktive und stets interessante Kooperation gedankt.

Meiner Erstprüferin Frau Professor Bahlmann möchte ich für die ausgezeichnete fachliche Unterstützung danken. Des Weiteren sei meinem Zweitprüfer, Herrn Meyer zur Capellen, für seine jederzeit motivierende Zusprache gedankt.

Ein großes Dankeschön geht von Herzen an meinen lieben Schatz, der mir in dieser Zeit eine starke, zuverlässige Stütze gewesen ist. Für seine Geduld und seinen unermüdlichen Einsatz, vor allem in der Endphase, sei ihm gedankt.

Darüber hinaus möchte ich meinen Eltern einen außerordentlichen Dank für ihre zuverlässige, aufmunternde Unterstützung aussprechen. Sie haben mir den Rücken freigehalten und damit das Studium in dieser Form ermöglicht.

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit entstand als interdisziplinäres Projekt des Studiengangs Bekleidung - Technik und Management und des Studiengangs Informatik. Die Zusammenarbeit ermöglichte die Erweiterung des textilen Handlungsspielraums um Elektronik und Software. Dabei wurden Materialien zusammengeführt, die ganz unterschiedliche physikalische Eigenschaften aufweisen und dadurch eine spannende Herausforderung bei der Umsetzung darstellten.

Um *Smart Textiles* zu schaffen, ist es notwendig, die textilen Flächengebilde in adaptiver und integrativer Form zu erweitern. Dies geschieht durch die Entwicklung und Verwendung von textilen Sensoren, die aus einem Sofa ein intelligentes Möbelstück werden lassen. Projektpartner war der *Masterstudent Oliver Dreschke* (Informatik) aus der Fakultät Technik und Informatik (HAW).

Die Smart Textiles agieren als Sensoren und ermöglichen die Detektierung von Position und Gewicht unterschiedlicher Objekte auf einem Sofa. Für die Umsetzung der *textilen Sensoren* wurden ein kapazitives sowie ein resistives Wirkungsprinzip ausgewählt. Physikalische Prüfungen mit vier ausgewählten Materialien flankierten die Suche einer geeigneten textilen Fläche für den kapazitiven Sensor. Sie gaben Aufschluss über textile und elektrische Eigenschaften und ergänzen die Erkenntnisse der Entwicklungsphase. Des Weiteren wurden Musterfragmente entwickelt, die zur Erprobung von Aufbau und Funktionsweise der Sensortypen dienen. Für die Konstruktion von Leiterbahnen und Anschlüssen mussten unterschiedliche Verfahren getestet werden. Abschließend erfolgte die Prototypenfertigung der Kissenbezüge. Die Sensorprototypen sind als Unterkissenbezüge für das dreiteilige Ecksofa im Living Place Hamburg (HAW) vorgesehen, die Technologie ist jedoch bei fast jedem Sofa mit abnehmbaren Polsterbezügen anwendbar.

2 Smart Textiles

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit Smart Textiles. Dabei wird der Begriff anfangs definiert und eine Einstufung im Zusammenhang mit verschiedenen Intelligenzstufen von Textilien durchgeführt. Anschließend werden der Entstehungsrahmen von Smart Textiles erläutert und deren Entwicklungspotenzial aufgeführt. Das Kapitel wird mit einer Betrachtung von Smart Textiles im Kontext einer intelligenten Wohnumgebung, dem Living Place Hamburg, abgeschlossen.

2.1 Begriffserläuterung

Smart Textiles - schlaue Textilien haben neben ihren spezifischen Eigenschaften als biegeschlaffes Material erweiterte Eigenschaften. Diese entstehen wie Abbildung 1 zeigt durch die Integration oder Adaption elektronischer Bauteile wie Sensoren und Aktuatoren. In einem weiteren Fall wird das Textil selbst als Sensor oder Aktuator genutzt. Dafür erfolgt eine Modifizierung durch konstruktionelle, ausrüstungstechnische oder fertigungstechnische Bearbeitung. Smart Textiles wirken interaktiv mit ihrer Umgebung. Eine Aktion oder Reaktion kann durch das Einwirken eines Anwenders oder einer systemtechnischen Anweisung ausgelöst werden. In der Fachliteratur häufig synonym verwendete Begrifflichkeiten sind:

- *Clever Textiles* - Schlaue Textilien
- *Intelligent Textiles* - Intelligente Textilien
- *Computational fabrics* - computerisierte Stoffe
- *Electronic Textiles (E-Textiles)* - Textilien mit integrierter Elektronik
- *Interactive Textiles (i-textiles)* - interaktive Textilien

Auf dem Markt wird der Begriff Smart Textiles z.T. aus Marketingaspekten eingesetzt, ohne der effektiven Funktion des Textils gerecht zu werden. Dies schafft Unklarheiten beim Konsumenten und erfordert eine eindeutige Einordnung. Die Intelligenzhierarchie nach dem Wissenschaftler Newnham (Newnham, Prof Robert E., 2005), der sich u.a. mit smarten Materialien beschäftigt, versucht eine Einteilung von Textilien in acht Stufen anhand ihres Intelligenzniveaus. Relevant sind dabei die Stufen von *smart* bis *wise*, bei denen die Textilien auf ihre Umgebung reagieren oder selbst zum Akteur werden.

In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff Smart Textiles für textile Flächengebilde mit sensorischen Fähigkeiten eingesetzt. Diese werden durch den konstruktionellen Aufbau

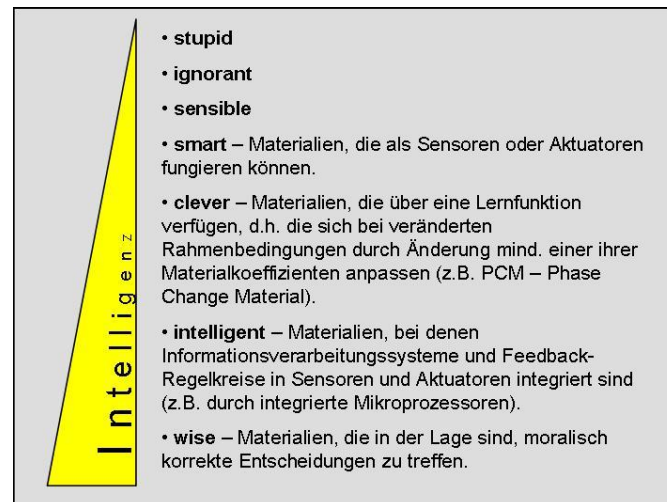


Abbildung 1: Intelligenzhierarchie nach Newnham (Vargas, 2009)

der Fläche (Einarbeitung von Metallfasern), Strang-Veredlung (vollflächige Versilberung der Einzelfasern) sowie Adaption (elektrisch leitfähige Fasern, elektronische Bauteile) ermöglicht.

2.2 Smart Textiles als branchenübergreifendes Zusammenspiel

Smart Textiles entstehen meist als ein Produkt interdisziplinären Forschens. In Anlehnung bereits vorhandener Hardware und Substanzen aus Mikroelektronik, Nanotechnologie, Optoelektronik und der Informations- und Kommunikationstechnologie wird nach der Möglichkeit gesucht, deren Funktionsweise mit textilen Mitteln umzusetzen. Eine andere Vorgehensweise besteht in der Anpassung der textilfremden Substanzen an das biegeschlafe Textil. Hierzu bedarf es meist der Miniaturisierung in Form von Nanopartikeln oder Mikrofasern. Durch das Zusammenspiel entstehen neue Handlungsspielräume und Herausforderungen, die in der Vergangenheit in stärkerem Maße von der Elektronikbranche als der traditionsbewussten Textilbranche als zukunftsweisend angenommen wurden. Es zeigt sich, dass die Entwicklungsfortschritte von *Smart Textiles* insbesondere durch die Innovation anderer Technologiebranchen bestimmt werden (Vargas, 2009).

2.3 Smart Textiles und Ubiquitous Computing

Smart Textiles können durch die Aufrüstung mit Computern höhere Intelligenz erhalten und als *intelligente Textilien* menschliche Tätigkeiten unterstützen oder ersetzen. Es existieren bereits verschiedene Projekte und marktreife Produkte, die eine Implementierung von Computern erfolgreich durchgeführt haben. In diesem Zusammenhang kommt der Begriff *Ubiquitous Computing* zum tragen. *Ubiquitous Computing* versteht sich als

allgegenwärtige, nahezu unsichtbare Computertechnik, die den Anwender durch künstliche Intelligenz im Alltag unterstützt.

Astrid Ullsperger, Juniorprofessorin für tragbare Elektronik und Rechentechnik an der TU Cottbus, beschreibt ihre Vision für die Zukunft: „Die Computer stellen mir Informationen zur Verfügung, aber ich merke nicht, dass ich mit Computern lebe. Ich muss mich nicht mehr um Software, Hardware, Schnittstellen und sonstige Details kümmern, die Technik heute eher nervend für uns macht.“ (Vargas, 2009). In der Fachliteratur spielen im Zusammenhang mit Ubiquitous Computing noch weitere Begrifflichkeiten eine Rolle:

- *Invisible Computing* - unsichtbare Computeranwendung
- *Tangible Computing* - anfassbare Benutzerschnittstellen
- *Ambient Awareness/ Intelligence* - intelligente Lebensumgebung
- *Pervasive Computing* - durchdringende Computeranwendungen oder
- *Augmented Reality* - erweiterte Realität

Das Bundesforschungsministerium - BMBF zählt Augmented Reality zu den sechs Schlüsseltechnologien der Wissensgesellschaft (Gundolf S Freyermuth, 2002). Auch die Bundeszentrale für politische Bildung vertritt die Meinung, dass die Verwendung von Informationstechnologie in Alltagsgegenständen zur Revolution des 21. Jahrhunderts avanciert.

Im Hinblick auf die Unterstützung des Menschen mittels Technik entstand die in dieser Arbeit entwickelte Sensortechnologie. Durch eine Integration im Sofa lassen sich verschiedene Funktionen steuern und die Anwendung in weiteren (Wohn)umgebungen ermöglicht die Unterstützung bei verschiedenen Aufgaben (Vgl. Kap 9). Es soll gezeigt werden, dass ein Umdenkprozess bezüglich der Einsatzmöglichkeiten und Fähigkeiten von Textilien erforderlich ist und sich durch branchenübergreifendes Forschen großes Entwicklungspotential ausschöpfen lässt.

2.4 Smart Textiles im Kontext des Living Place

Seit Januar 2009 entsteht an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) im Department Technik und Informatik im Zusammenspiel von Studenten, Professoren

und Unternehmen ein Forschungsplatz für *ambient intelligence* - intelligente Lebensumgebungen. Hauptsächlich unterstützt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sowie dem Wirtschaftsministerium werden angewandte IT-basierte smart living Untersuchungen in realer Umgebung durchgeführt. Das Projekt ist Teil des Programms „next generation media - vernetzte Arbeits- und Lebenswelten“, welches dazu dient, Referenzmodelle und Best Practice Beispiele zu erproben, die Machbarkeit sowie den wirtschaftlichen Nutzen aufzuzeigen und damit zur Nachahmung anzuregen (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2010).

Hierzu dient eine wie in Abbildung 2 dargestellte 140 m^2 große Loftwohnung in einem Bestandsgebäude des HAW Campus, die in die Bereiche Wohnen und Entwicklung aufgeteilt ist.

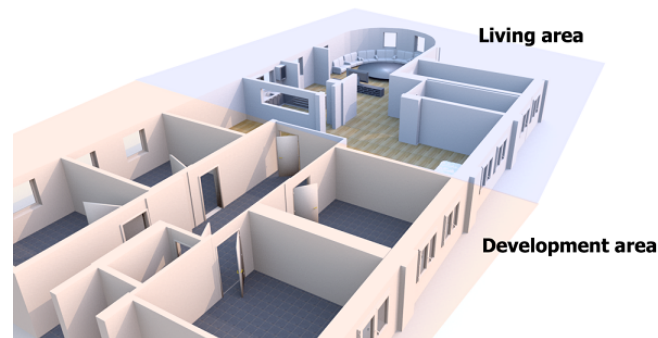


Abbildung 2: Modell des Living Place mit Wohn- und Entwicklungsbereich (LPHH, 2010)



Abbildung 3: Der Wohnbereich im Living Place (LPHH, 2010)

Durch Benutzerschnittstellen sollen Interaktionsmodalitäten als natürliche Eingriffsmöglichkeiten der Bewohner geschaffen werden. Eine *Tangible Computing* - anfassbare Benutzerschnittstelle von Elektronik und Textil ist das in Abbildung 3 gezeigte Sofa des Living Place. Dieses soll durch die Sensortechnologie als intelligentes Sofa ausgerüstet werden.

Das Sofa *Loren* ist ein hochwertiges Ecksofa der Firma Exil Wohnmagazin GmbH & Co.KG¹ mit drei Sitzelementen und Armlehnen. Klare Linien und eine verhaltene Materialstruktur verleihen ihm eine moderne Optik. Das rechte Sitzkissen ist als Liegebereich gearbeitet. Beim

¹www.exil-wohnmagazin.de

Bezug Aspen handelt es sich um ein grau-beige meliertes Flachgewebe aus 60% Acryl und 40% Baumwolle. Der Bezugstoff hat ein Flächengewicht von 610 g/m^2 , eine hohe Scheuerbeständigkeit von > 20.000 Touren sowie eine Lichtbeständigkeit der Note 5 (1 schlecht, 8 sehr gut) und ist für die intensive Nutzung im Wohnbereich vorgesehen. Das Gestell ist aus massiver Buche und 18 mm Multiplex Furnier Sperrholzplatten gefertigt. Die Sitzkissen bestehen aus hochwertigem Kaltschaum mit einem Raumgewicht von RG 35 - Raumgewicht $35 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Zum Schutz des Polsterbezuges vor Scheuerbeanspruchung befindet sich über dem Schaumstoffpolster eine Auflage aus 60% Gänsefedern und 40% Faserbällchen. Auch die Rückenkissen sind laut Hersteller mit dieser Materialkombination gefüllt.

Das Sofa ist Basis für die Integration der Sensorkissenbezüge. Sie werden als abnehmbare Unterpolsterbezüge zwischen das vorhandene Polster und den Polsterbezug eingefügt. So halten Smart Textiles Einzug in den Living Place.

3 Status Quo der textilen Sensortechnologie

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit der Bedeutung textiler Sensoren und deren Anwendungsmöglichkeiten. Dabei wird Eingangs in Abschnitt 3.1 der Begriff *textiler Sensor* definiert und im folgenden Abschnitt 3.2 der aktuelle Entwicklungsstand von textilen Sensoren anhand ausgewählter Forschungsprojekten dargestellt.

3.1 Textile Sensoren

Als textile Sensoren (Sensor: lat. = *sensire*, dt. = „fühlen“ oder „empfinden“) bezeichnet man textile Elemente, welche physikalische, chemische oder stoffliche Eigenschaften qualitativ oder quantitativ erfassen können. Die DIN 1319-1:1995-01 definiert Sensoren als (Meßgrößen-)Aufnehmer, die als erstes Element einer Messkette und Teil eines Messgerätes oder einer Messeinrichtung auf eine Messgröße unmittelbar anspricht². Messgrößen können hierbei sein: Kraft, Temperatur, Feuchtigkeit, Druck, Schall, Beschleunigung, Bewegung, Flüssigkeit usw., diese werden qualitativ oder quantitativ erfasst und in weiterverarbeitbare Größen, z.B. elektrische Signale wie elektrische Spannung umgewandelt und zu der Eingangsgröße in eine festgelegtes Verhältnis gesetzt. Um Messgrößenaufnehmer zu erzeugen, werden textile Elemente durch konstruktive, fertigungstechnische oder ausrüstungsbedingte Schritte zu textilen Sensoren ausgerüstet. Im Folgenden wird der Begriff „Sensor“ analog für das messgrößenempfindliche Element des Aufnehmers eingesetzt.

Textile Sensoren befinden sich ca. seit dem Jahr 2000 auf dem Markt und wurden schwerpunktmäßig in den Bereichen „Wellness Health and Care“, „Protection and Security“, „Information and Communication“, „Fashion, Sports and Fun“ und „Automotive“ eingesetzt. Vor allem die Bekleidung als steter und enger Begleiter bietet sich für die Anwendung textiler Sensoren an. Sie erweitern das Bekleidungssystem zu Smart Clothes (Vargas, 2009, S. 21). Für den Arbeitsschutz können an entsprechenden Stellen integrierte Bewegungs- oder Drucksensoren zur freihändigen Bedienung verschiedener Systemelemente verwendet werden oder statt externer Tastaturen lassen sich textilbasierte Tastaturen in Kleidung integrieren. Sensoren zur Überwachung von Vitalparametern wie Puls, Herzfrequenz oder Atmung können die körperliche Konstitution des Trägers detektieren (Kirchdörfer u. a., 2003). Sie lassen sich jedoch (noch) nicht für alle Zwecke einsetzen, sodass in diesen Fällen herkömmlich elektronische „hard sensors“ zum Einsatz kommen.

²DIN 1319-1:1995-01, S 19

3.2 Vergleichbare Projekte mit Sensortechnologie

Die in diesem Kapitel beschriebenen Projekte beschäftigen sich mit Smart Textiles und basieren wie die vorliegende Forschungsarbeit auf resistiver und kapazitiver Sensortechnologie. Sie wurden aufgrund ihrer Parallelen zu der vorliegenden Arbeit aus mehreren Forschungsarbeiten ausgewählt und sollen nachfolgend näher erläutert werden. Die Projekte verdeutlichen, dass bereits verschiedene namhafte Unternehmen und Forschungsinstitute intensive Entwicklungsarbeit mit großer finanzieller Unterstützung über mehrere Jahre im Smart Textiles Bereich geleistet haben. Es seien auch die Projekte SensFloor®³ sowie das Projekt des „Textilen Sensors zur Messung der Druckverteilung auf unebenen Flächen“⁴ erwähnt. Beide Projekte stellen abgeschlossenen Entwicklungen dar und basieren auf kapazitiver Sensortechnologie, sollen jedoch aus Gründen des Umfangs nicht näher erläutert werden. Von den nachfolgenden fünf Projekten arbeiten vier mit resistiven textilen Sensoren und eines mit kapazitiven textilen Sensoren:

1. Wealthy - resistiv
2. Textile Tastatur - resistiv
3. SeatSen - resistiv
4. Insitex - kapazitiv
5. Textiler Sensoranzug - resistiv

Diese beispielhafte Aufteilung zeigt, dass in der Vergangenheit schwerpunktmäßig im Bereich der resistiven Sensoren geforscht wurde.

3.2.1 Wealthy

Im Medizinischen- sowie im Sportbereich können textile Sensoren zur Erfassung von Vitalparametern wie Puls, EKG und Temperatur genutzt werden. Als Beispiel ist das 2002 gestartete *Wealthy* Projekt zu nennen, welches im Rahmen eines EU-Projektes für zweieinhalb Jahre ins Leben gerufen wurde und mit 3.8 Mio. € dotiert war (o. Hrsg., 2005b). Unter anderem am Projekt beteiligt ist die Firma Smartex⁵. „Ziel des Projektes war es, ein komfortables Gesundheitsüberwachungssystem durch die Implementierung von Computertechniken, smarten Sensoren, tragbaren Geräten, sowie Telekommunikationsfunktionen auf einer textilen Plattform zu erschaffen.“ (Vargas, 2009, S. 61)

³<http://www.sensfloor.de/Partner.html>, 5.3.2011

⁴<http://www.liko-online.de/expos/ELA23.pdf>, 5.3.2011

⁵Smart Tex: Initiator und Spezialist im Bereich der Entwicklung von Innovationen im Textilsektor. Durchführung von Forschungsprojekte mit Unterstützung u.a. von Unternehmen wie Milior SpA.

Wealthy arbeitet mit textilen „soft sensors“ (piezoresistive Dehnungssensoren, textile Elektroden) und nichttextilen „hard sensors“ (Sensoren für Haut- und Kerntemperatur, Beschleunigungssensoren zur Bewegungserfassung, Sensoren für die Erfassung der Sauerstoffsättigung). Der piezoresistive Effekt des „soft sensors“ beruht auf der Widerstandsänderung eines Leiters durch äußere mechanische Krafteinwirkung. Die Platzierung der piezoresistiven Widerstandssensoren zeigt Abbildung 4.

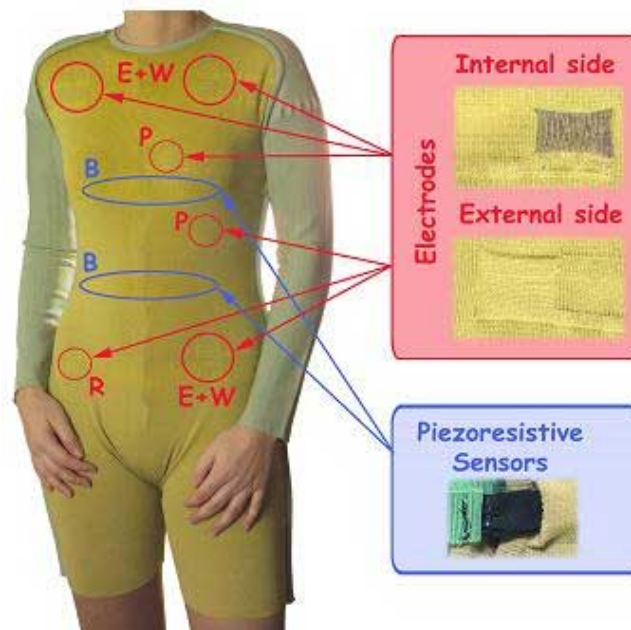


Figure 1. Prototype model, E+W Einthoven and Wilson , R Referee, P Precordial leads, B Breathing sensors. (Prototype A)

Abbildung 4: Konstruktion des Wealthy-Prototypen (o. Hrsg., 2005a)

Durch die partielle Verarbeitung elektrisch leitfähiger Garne auf der Innenseite eines Intarsien Double-face Gestricks entstand die textile Elektrode zur kardialen Überwachung. Die nicht leitfähige Außenseite dient der Isolation, zur verbesserten Leitfähigkeit und zum Schutz wurde eine Hydro-Gel-Membran der Firma ST&D Ltd (Belfast-UK) zwischen Haut und Elektrode verarbeitet.

Der Aufbau der leitenden Verbindungen ist ähnlich dem der textilen Elektrode, zusätzlich wurde jedoch eine dritte Lage mit Hilfe der Vanisé-Technik hinzugefügt, sie besitzt eine isolierende Wirkung, sodass ein „Sandwich“ aus einem nicht leitfähigem, einem leitfähigem und wieder einem nicht leitfähigem Gestrick entsteht.

3.2.2 Textile Tastatur

Auch die Firma *Elektex* beschäftigt sich mit textilen Sensoren in Form von *textilen Tastaturen*. Sie basieren auf einem 3-Schicht-Aufbau, wobei sich zwischen Leiter (elektrisch leitfähige Fasern) und Isolator (leitfähige Fasern, die sich nur unter Druckeinwirkung berühren) je eine Mesh-Lage befindet, um ungewollte Kontaktierung zu vermeiden. Je mehr Druck einwirkt, desto mehr „Brücken“ werden zwischen den leitenden Fasern der mittleren und äußeren Schichten gebildet. Über eine Stromdurchgangsmessung lassen sich Berührungen auf den drei Ebenen X, Y und Z bestimmen und Aussagen über die Druckposition und Druckintensität treffen.

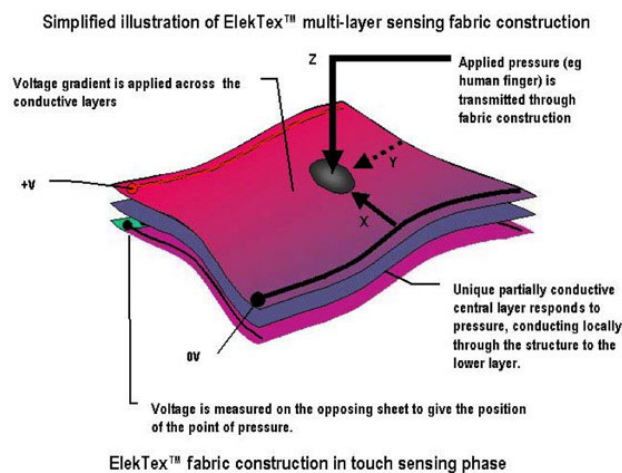


Abbildung 5: Elektex Funktionsprinzip (eric at talk2myshirt, 2006)

Die Elektex Technologie wurde bereits erfolgreich in der *Innovative Sport Heating Jacket*, der *Infineon Rosner mp3blue-Jacke* sowie der *Spyders iPod-Jacke* eingesetzt (eric at talk2myshirt, 2006).

3.2.3 SeatSen

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit ca. 2,4 Mio € geförderte Forschungsvorhaben *SeatSen* umfasst die Entwicklung eines textil integrierten MST-Sensor-Systems zur Erkennung von Sitzbelegung und Sitzposition in Kraftfahrzeugen. Das Erreichen der Machbarkeit und die anschließende Technologieentwicklung zur Fertigung von neuen Webtechniken, der Mikroverbindungstechnik sowie die Integration der neuen Technologien in den Baugruppenaufbau stehen dabei im Vordergrund. Ziel des Projektes ist die Ermittlung verschiedener Insassenklassen und damit Ausgabe einer Kenngröße der Last auf dem Sitz, sodass zwischen einem leeren Sitz, einem Kindersitz oder einer Person unterschieden werden kann. Gekoppelt an diese Informationen lässt sich u.a. die Steuerung von Airbag- und Gurtwarnfunktionen regulieren.

SeatSen mit der Projektlaufzeit vom 01.10.2007 bis 31.12.2010 entstand im Rahmenprogramm *Mikrosysteme* (2004-2009) unter der Projektbetreuung der VDI/VDE Innovation und Technik GmbH. In Zusammenarbeit mit fünf Unternehmen aus den Bereichen Automobil-Herstellung und Zulieferung, Elektronik und Zertifizierung⁶ zeigte sich das Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e.V. (TITV Greiz) für die Projektkoordination sowie die Entwicklung textiler Schaltungsträger und Verbindungstechniken zuständig (VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, 2009a).

SeatSen arbeitet mit drei verschiedenen Sensorkonzepten:

- Mikromechanischen Kraftsensoren mit direkter Krafteinwirkung
- Resistive Sensorschicht auf semiflexiblem Substrat (Biegebalken) - FLATcomp
- Netzwerk aus textilintegrierten Sensorfäden

Im Folgenden wird das Konzept der Sensorfäden eingehender erläutert, da es als ausschließlich textile Technologie die vorliegende Arbeit in seiner Entwicklungsphase Richtungweisend beeinflusst hat.

Die *Sensorfäden* arbeiten als resistive Kraftsensoren mit einer messbaren Widerstandsänderung bei äußerer Krafteinwirkung. Durch die Belastung durch eine Kraft F verändert sich die Ausgangslänge des Sensorfadens L um ΔL .

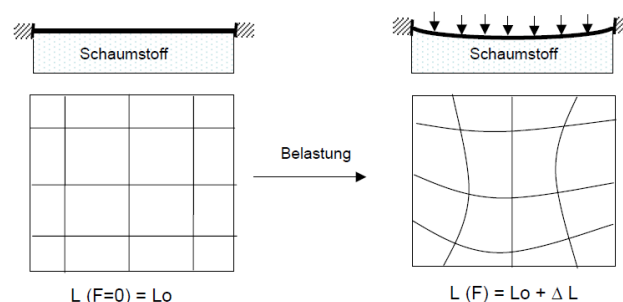


Abbildung 6: Wirkungsweise der Sensorfäden (VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, 2009b)

Der im Kern leitfähige Sensorfaden wird in einer meanderförmigen Figur aufgesteppt, sodass auf kleiner Fläche größtmögliche Fadenmenge appliziert werden kann und eine erfassbare Widerstandsänderung messbar wird. Dieser Aufbau ermöglicht eine optimale Wasserdampfdurchlässigkeit, bei der auch im Falle eines Belüftungssystems (Sitzheizung) keine Einschränkung der Luftzirkulation eintritt.

⁶Mitwirkende Unternehmen: Audi AG, Car Trim GmbH, GEMAC mbH, Würth Elektronik GmbH & Co. KG, CE-SYS GmbH Illmenau und TITV Greiz

3.2.4 Insitex

Das Verbundforschungsprojekt⁷ *Insitex* (Aktive Insassen-Sicherheit durch Intelligente Technische Textilien) läuft unter dem Förderkennzeichen 16SV3463 und wurde in der Zeit vom 01.03.2007 bis 31.08.2010 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit einem Gesamtvolumen von ca 3,9 Mio € gefördert. Dabei soll unter Nutzung von intelligenten technischen Textilien in Form von Sensorelementen Anwendungen zur Erkennung des Fahrerzustands, Vigilanzmessung und Sitzbelegungserkennung realisiert werden. Die Sensorelemente erfassen physiologische Parameter wie EKG, Kopfposition, Atmung, Hauttemperatur etc. und lassen sich durch Integration in Fahrzeugkomponenten wie Sitz, Lenkrad, Himmel oder Gurt zur Unfallprävention verwenden. Die erfassten Signale können dazu dienen, Schläfrigkeit oder Stresssituationen zu erkennen und präventive bzw. assistierende Maßnahmen zu ergreifen. Zudem ist über die Bestimmung verschiedener Gewichtsklassen sowie Überwachung von Sitzbelegung, -position und Gurteinstellung eine selektive Airbagauslösung zur Verbesserung der Sicherheit von Fahrzeuginsassen realisierbar.

INSITEX beschäftigt sich mit den folgenden Bereichen:

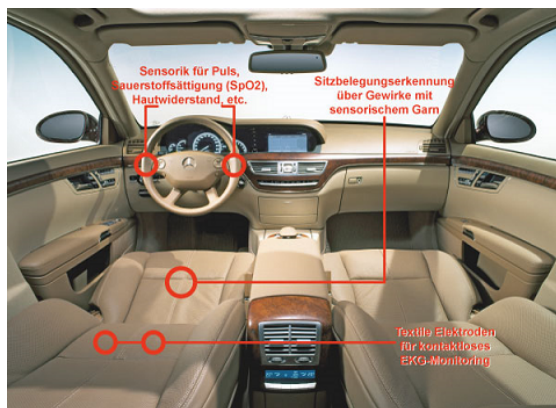


Abbildung 7: Sensorverteilung bei Insitex
(Quelle: <http://www.insitex.de>)

Textile Sensorik:

Entwicklung innovativer Garne mit speziellen sensorischen Eigenschaften sowie anwendungsspezifische textilen Flächenstrukturen als Sensorelemente. Erforschung einer lötfreien Kontaktierungsverbindung textil-integrierter isolierter Leiterstrukturen mit Elektronikmodulen sowie deren Qualifizierung nach den in der Automobilindustrie geforderten Normen.

Kapazitive EKG-Messung:

Entwicklung berührungslos wirkender kapazitiver Elektroden zur Erfassung eines EKG-Signals auch durch Kleidung hindurch. Ersatz der bisherigen Klebeelektroden und Sicherstellung eines optimalen Sitzkomforts. Entwicklung eines anfänglich eingesetzten Labordemonstrators mit einer nicht-textilen

⁷Konsortium: DaimlerChrysler AG, FZI, Fraunhofer IZM, W.Zimmermann GmbH, Fritz Moll Textil KG, I.G. Bauerhin GmbH und rent a scientist

Elektrode und anschließender Ersatz durch textile Strukturen. Für die großflächige Integration in die Rückenlehne eines E-Klasse Sitzes geeignet.

Vitalsensorik am Lenkrad:

Integration medizinischer Sensorelektronik zur Erfassung von Puls, Blutsauerstoff und Hautwiderstand. Untersuchung und Evaluation der Parameter mit der höchsten Aussagekraft bestimmter Fahrerezustände durch einen Demonstrator. Damit Ergänzung herkömmlicher fahrdynamischer Parameter und Erhöhung der Aussagekraft sowie Schaffung neuer Anwendungsmöglichkeiten (FZI, Forschungszentrum Informatik, 2009).

3.2.5 Textiler Sensoranzug

In (Pan u. a., 2003) ist die Entwicklung eines textilen Sensors als Ganzkörperanzug zur Steuerung von Robotern beschrieben. Er ermöglicht über eine fünf Lagenstruktur aus leitfähigem und nicht leitfähigem Textil die Bestimmung des Kontaktpunktes sowie die auf diesen Punkt einwirkende Kraft. Hierüber lassen sich Kontaktinformationen des Roboters ähnlich wie über die menschliche Haut sammeln.

Der Sensor besteht aus zwei Außenschichten aus *ESD Material* - *electrostatic discharge*/ elektrostatische Entladung mit parallel verlaufenden leitfähigen Kettfäden für eine partielle Leitfähigkeit. Wie in Abbildung 8 dargestellt detektiert eine Seite die X-Richtung, die andere, um 90° gedrehte Schicht, die Y-Richtung. Pro Schicht verbinden zwei leitfähige Terminals (T1,T3 und T2,T4) zwei Gruppen der parallel verlaufenden Fäden mit dem Messkreislauf.

Die mittlere Lage hat durch das Gestrick aus leitfähigem Faden mit Schlingen eine komprimierbare Struktur, die bei zunehmender Krafteinwirkung stärkeren Kontakt untereinander bekommen, sodass der elektrische Widerstand sinkt. Wird kein Druck ausgeübt, trennen zwei elektrisch isolierende Lagen die gestrickte mittlere Lage von den äußeren Lagen. Mit diesem Aufbau lassen

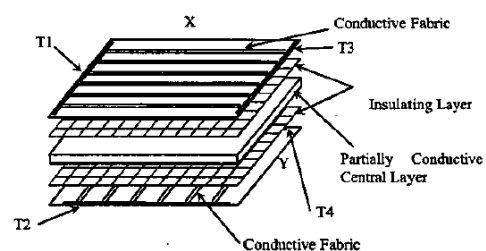


Abbildung 8: Aufbau des Sensors (Pan u. a., 2003)

sich mit vier Anschlüssen und fünf Messpunkten viele Sensorpunkte realisieren. Einschränkung ist die Tatsache, dass ein akkurates Ergebnis nur bei einer Flächenbesetzung von weniger als 30% sowie nicht an den Ecken des Sensors erreicht werden kann.

4 Technologien und Komponenten der Sensorkissenbezüge

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit der verwendeten Sensortechnologie und deren textilen und elektronischen Komponenten. Dafür wird eingangs in Unterpunkt 4.1 die ausgewählte Technologie vorgestellt. Sie besteht aus zwei Sensortypen. Anschließend folgt in Unterpunkt 4.2 eine Auflistung und Erläuterung der verwendeten textilen Komponenten. Kapitel 4 endet mit der Vorstellung der angewandten Elektronik und Software in Unterpunkt 4.3.

4.1 Technologien

Für die Sensortechnologie im Sofa wurden in Zusammenarbeit mit Oliver Dreschke zwei Funktionstypen aus einer Vielzahl gängiger Kraft- und Drucksensoren ausgewählt. Auswahlkriterien waren dabei: Detektierbarkeit von Sitzposition und -gewicht sowie Annäherung, weitestgehend textiler Aufbau, textile Fertigungsmöglichkeit und geringe Kosten. Diese Kriterien ließen sich mit kapazitiven und resistiven Sensoren umsetzen. Da die Sensorkissenbezüge unter Berücksichtigung der Kissenmaße bei allen Sofas mit abnehmbaren Bezügen einsetzbar sein sollen, muss die Technologie flexibel konzipiert sein.

4.1.1 Kapazitive Sensoren

Kapazitive Sensoren verfügen über die Eigenschaft, die Annäherung eines Massekörpers zu detektieren. Hinzu kommt ein konstruktiv einfacher Aufbau, der die Umsetzung als textiler Sensor ermöglicht. Das Grundprinzip basiert auf zwei Elektroden, die jeweils eine spezifische elektrische Kapazität aufbauen. Sie entsteht durch die Speicherung der Ladungen $+Q$ und $-Q$, die durch die externe Spannungsquelle mit der Spannung U auf die Elektroden transportiert wird. Die Elektroden lassen sich mit leitfähigen textilen Flächengebilden umsetzen.

4.1.2 Schirmung

Kapazitive Sensoren erzeugen elektrische Wechselfelder im Niederfrequenz - NF Bereich. Diese sind im Gegensatz zu z.B. einer Mobilfunkstrahlung von sehr geringer Relevanz für die menschliche Gesundheit, sollen aber bei der vorliegenden Forschung berücksichtigt werden. Ziel ist es, eine zusätzliche Belastung des Menschen durch Elektromog zu vermeiden, sodass die im Sofa integrierte Technik bei direktem Kontakt

keinen negativen Einfluss auf den Menschen hat. Aus diesem Grund wurde der gesamte Kissenbezug aus elektrisch leitfähigem Material gefertigt, welches, auf Masse geschaltet, das kapazitive Feld begrenzt (Vgl. Masterarbeit von Oliver Dreschke (2011)).

Durch die Zunahme von elektronischen Bauteilen wie Lampen, Leitungen und Netzanschlüsse in häuslichen Umgebungen sowie Sendeanlagen wie Radio, Fernsehen, Mobilfunk, Radar, Richtfunk, Babyphone, schnurlose Telefone oder drahtlose Funknetzwerke (W-LAN) ist die Belastung durch Elektromog in den letzten Jahrzehnten rasant gestiegen. Sie steht unter dem Verdacht, genetische Veränderungen und Tumore zu erzeugen, wobei keine wissenschaftlichen Belege existieren. Bei zunehmendem Einsatz von Funktechnologie und bei kontinuierlicher intensiver Bestrahlung schließen Wissenschaftler langfristig gesundheitliche Schäden jedoch nicht aus (Vargas, 2009). Kritiker bemängeln unzureichende Grenzwerte von bereits international vorhandener Normen zum Schutz vor Elektromog.

Reagierend auf das wachsende Verbraucherbewusstsein entwickelten bereits verschiedene Textilhersteller textile Flächengebilde, die zur Schirmung von Elektromog als Bekleidung oder Baldachine, auf Wänden oder als Handytaschen etc. eingesetzt werden können. Sie kommen dann zum Einsatz, wenn keine schaltungs- oder installationstechnischen Maßnahmen z.B. durch Feldfreischalter durchgeführt werden können.

4.1.3 Resistive Sensoren

Zur Detektierung verschiedener Massegewichte eignen sich resistive Sensoren. Diese ermöglichen durch eine elektrische Widerstandsänderung die Ermittlung der Krafteinwirkung einer bestimmten Masse. Nach dem Ohm'schen Gesetz wird der elektrische Widerstand über die Spannung im Output gemessen und von der Software verarbeitet. Resistive Sensoren können aus textilen Fäden oder Flächen hergestellt werden.

4.2 Textile Komponenten

In diesem Kapitel werden die technischen Daten der textilen Komponenten, die für die Umsetzung der resistiven und kapazitiven Sensoren zum Einsatz kamen, erläutert. Hierzu zählen die Materialien für Sensor, Schirmung und Leiterbahn sowie benötigte Hilfsmaterialien. Sie bilden z.T. die Ausgangslage der Entwicklung oder kamen ergänzend im weiteren Verlauf hinzu. Die Auswahl erfolgte anhand der gestellten Anforderungen. Diese sind bezüglich der in Tabelle 1 gelisteten oberflächenleitfähigen textilen Flächen (Sensor/Schirmung) und Fäden (Sensor) folgende:

1. Gute elektrische Leitfähigkeit/Kapazität
2. Textile Eigenschaften entsprechend den Anforderungen an Polyesterbezüge (z.B. zug- und scheuerbeständig, waschbar, dimensionsstabil)
3. Verarbeitungsmöglichkeit mit herkömmlichen Verfahren bei Zuschnitt und Füge-technik (z.B. schneidbar, vernähar, Möglichkeit der konstruktiven Flächenformung/Bügeln)

Die als „Halbleiter“ in Tabelle 1 gekennzeichneten Materialien sollen über einen sehr großen Oberflächenwiderstand im hochohmigen Bereich verfügen. An das Isolationsgewebe (Dobby) ist die Anforderung gestellt, zwei elektrisch leitfähige Flächen oder Fäden durch eine dicht gestellte Gewebekonstruktion zu trennen und als Stickereibasis eine hohe Dimensionsstabilität aufzuweisen. Die Trägermaterialien *Loden* und *Ripstopgewebe* sind Hilfsmittel für die Aufbringung der Sensorelemente. Da das Ripstopgewebe (Hilfsmittel) an den Sensorpunkten (resistiver Sensor 1) offenkantig verarbeitet werden soll, verfügt es über eine laminierte Polyester-Membran. Sie verhindert das Herauslösen von Schuss- und Kettfäden. Eine zusätzliche Festigkeit wird durch die stärkeren, gitterförmig eingewobenen Garne erzielt. Das Fügmaterial Visofix erzeugt durch seine Klebestruktur eine dauerhaft haltbare Verbindung zweier textiler Flächen und wird beim kapazitiven Sensor eingesetzt. Wie auch der Reißverschluss ist der oberflächenleitfähige Klettverschluss für eine sichere und strapazierfähige Verbindung vorgesehen, darüber hinaus muss mit diesem auch ein sehr guter elektrischer Kontakt erzeugt werden.

Da es sich überwiegend um Materialien handelt, die sehr speziellen Anforderungen gerecht werden müssen, war oft nicht in herkömmlichen Stationärgeschäften, sondern im Repertoire spezialisierter Online-Anbieter das passende Material zu finden. Dieser Effekt wird auch dadurch verstärkt, dass Materialien mit elektrischer Oberflächenleitfähigkeit in der klassischen Textilindustrie noch kaum Verwendung finden und sich der Materialbedarf auf Spezialbereiche beschränkt. Diese sind u.a. Funktionstextilien für Arbeit und Freizeit, technische Textilien und Haus- und Heimtextilie

Beispielhaft für die Materialherkunft sollen im Folgenden zwei Firmen angeführt werden. Ein Internethändler ist die biologa® Elektrotechnik GmbH & Co. KG⁸, sie bietet u.a. textile Flächengebilde zum Schutz vor Elektromog an. Das *Abschirmgewebe Picasso* sowie *Abschirmgewirk Dali* stammen, ebenso wie die elektrisch leitfähige Farbe *NSF34* und der Vlies *Rubens Light*, aus deren Sortiment. Das novonic® CFW-Gewebe konnte über den Internetshop der Firma W. Zimmermann GmbH & Co. KG⁹ bezogen werden.

⁸<http://www.biologa.net>

⁹<http://www.zimmsi.com>

Tabelle 1: Materialübersicht

Materialübersicht			
Material	Einsatzbereich	Beschreibung	Materialzusammensetzung
<i>Textile Flächengebilde</i>			
Köper 2/1 (novonic® CWF Gewebe)	Sensor/Schirmung	Oberflächenleitfähiges Gewebe in Köperbindung 2/1 z, 40x24, Vollzwirn; Flächengewicht: 160 g/ m ² ± 10%	57 % PES, 20 % PA, 23 % Ag
Ripstopgewebe (Picasso)	Sensor/Schirmung	Tafelbindiges Ripstopgewebe zur textilen Abschirmung mit geschmeidigem Griff und Ganz; Vollflächige rundum Versilberung der Einzelfasern; Flächengewicht: 46 g/ m ²	feinmetallisiertes Nylongewebe
Chameuse (Dali)	Sensor/Schirmung	Kettengewirk zur textilen Abschirmung, sehr flexibel und dehnbar, große Luftdurchlässigkeit durch lockere Maschen; Vollflächige rundum Versilberung der Einzelfasern; Flächengewicht: 32 g/ m ²	feinmetallisiertes Nylongewirk
Köper (offen)	Sensor	Offener Köper mit Metallfäden im Schuss; weicher textiler Charakter; Flächengewicht: 185 g/ m ²	SW 85 %, 15 % ME (Annahme Ag)
Halbzwiware	"Halbleiter"	Gewebe mit leitfähigem Karomuster aus geschnittener Metallfolie zum Schutz gegen Elektrosmog; MTF in der Kette als Zwirn, im Schuss als Garn verarbeitet; Flächengewicht: 125 g/ m ²	54 % PES, 45 % CO, 1 % MTF
Vlies (Rubens Light)	"Halbleiter"	Rubens Light ist ein elektrisch leitfähiges Faservlies auf Graphitbasis, dampfdiffusionsfähig, flexibel und bedingt reißfest; Flächengewicht: 50 g/ m ² ± 10%	Polyestervlies, Polyacrylat, Kohlenstoff
Maschenware (ESD-Material)	"Halbleiter"	ESD = engl. electrostatic discharge (Elektrostatische Entladung)/weicher Jersey; eingearbeiteten Silberfäden in Maschenläbchenrichtung	50% CO, 47 % PES, 3 % karbonisiertes Garn
Dobby	Isolation/Trägermaterial	Schaffgewebe in Köperbindung, fester Griff; Flächengewicht: 214 g/ m ²	100 % Co
Loden	Trägermaterial	Gewalktes Wollgewebe mit weichem, flauschigem Griff; Materialgewicht:	90 % SW, 10 % Kaschmir
Ripstopgewebe	Trägermaterial	Oberstofflaminat mit PES Membran; Glatte Oberfläche und verstärkte Festigkeit durch Ripstopstruktur; Flächengewicht: 103 g/ m ²	Oberstoff: 100% Nylon (PES 6.6) Laminat: 100 % PES
<i>Textile Fäden</i>			
Zwirn (weich gedreht)	Sensor/Leiterbahn	Nm 42,6 / 4; Weich gedrehter Zwirn aus vier Multifilamentgarnen mit je ca. 34 Einzelfilamenten	Annahme: versilbertes Nylongarn
Zwirn (hart gedreht)	Sensor/Leiterbahn	Nm 20/ 2; Hart gedrehter zweistufiger Zwirn aus ca. 70 Filamenten je Garn	Annahme: versilbertes Nylongarn
<i>Weitere Materialien</i>			
Velostat	"Halbleiter"	Material mit hochohmigem Widerstand; Zum Schutz von elektrischen Bauteilen eingesetzt	Carbon impregnierter polyethylen Film
Visofix	Fügematerial	Klebevließ zum Verbinden zweier textiler Flächen	Trägermaterial PA
Klettverschluss	Verschluss	Oberflächenleitfähiges Flausch- und Hakenband ; Gewicht: 0.15 oz/ in ² , Dicke: 1/8 in	versilbert
Spiralreißverschluss	Verschluss	Bandbreite: 25 mm und der Spiralbreite: 3 mm	/
Nähgarn	Fügematerial	Nm 120	100% PES

Für die oberflächenleitfähigen Fäden sowie den Klettverschluss erwiesen sich ebenfalls Internethops als geeignete Bezugsquelle.

4.3 Elektronische Komponenten und Software

In diesem Kapitel erfolgt die Darstellung von Soft- und Hardwarekomponenten der Sensortechnologie. Dafür werden anfangs die elektronischen Komponenten des kapazitiven Sensors und anschließend die des resistiven Sensors näher erklärt.

4.3.1 Kapazitiver Sensor

Für die Aufnahme der Sensormesswerte sind sowohl Hardware- als auch Softwarekomponenten notwendig. Das CapSense-Toolkit¹⁰, siehe Abbildung 9, ist ein Schwingkreiserzeuger und verfügt über acht kapazitive Sensoren. Die Elektronik ist für ca. 200 € erhältlich und, ebenso wie das Kommunikationsprotokoll und die Firmware, quelloffen. Diese Technik ist preiswert, erfordert jedoch pro Elektrode die Unterbringung eines Sensors sowie vier Leiterbahnen (Plus-/Minuspol, Datenzu-/ Datenabführung). Des Weiteren scheint die Schirmung der USB-Anschlüsse nicht korrekt durchgeführt worden zu sein, da selbst bei geschirmten Kabeln eine Beeinflussung der Messwerte bei Annäherung an das Kabel zu beobachten war.

Das CapSense-Toolkit findet seine Anwendung bei den inneren Elektroden (Vgl. Kap. 6.1.2) der Kissenbezüge des kapazitiven Sensors. Für eine hohe Güte der Messwerte müssen die Sensoren dicht an der textilen Elektrode platziert sein.

Die Datenaufnahme der vorderen Elektrode erfolgt durch einen Schwingkreiserzeuger aus der Sicherheitstechnik. Er erzeugt zuverlässige Messwerte, arbeitet mit nur zwei Leiterbahnen (Plus- und Minuspol) und wird über geschirmte Koaxial-Kabel angeschlossen. Nachteilig hierbei sind die vergleichsweise hohen Anschaffungskosten von ca. 300 € pro Schwingkreiserzeuger sowie die Beschränkung auf den Anschluss einer Elektrode. Die erfassten Messwerte werden bei beiden Schwingkreiserzeugern auf einem MacMini mit einer dafür entwickelten Anwendung weiterverarbeitet (Vgl. Masterarbeit von Oliver Dreschke (2011)).

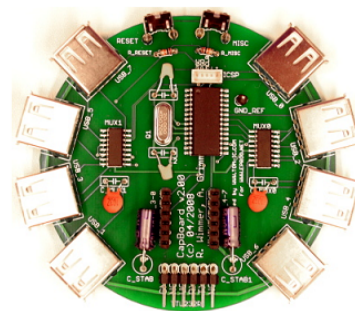
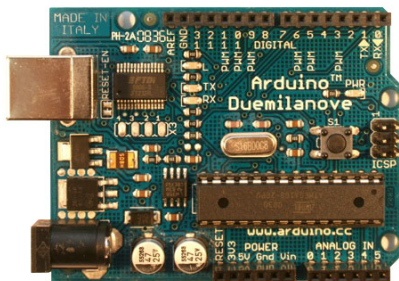


Abbildung 9: CapSense Toolkit
(Quelle: www.capsense.org)

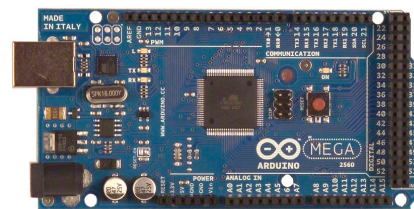
¹⁰<http://www.capsense.org>

4.3.2 Resistiver Sensor 1 und 2

Die resistiven Sensoren (Vgl. Kap. 6.2 und 6.3) werden über einen *Arduino*¹¹ Mikrocontroller (Abbildung 10) ausgelesen. Es handelt sich dabei um eine quelloffene Steuerungsplattform mit einfach aufgebauter Hard- und Software. Sie ermöglicht die Verwendung einer Vielzahl verschiedener Sensoren. Der im vorliegenden Fall eingesetzte Arduino Duemilanove (resistiver Sensor 1) erlaubt den gleichzeitigen Anschluss von sechs Sensoren (6 analoge Eingänge), der Arduino Mega (resistiver Sensor 2) verfügt über 16 analoge Eingänge. Beide Microcontroller arbeiten mit 5 V Betriebsspannung und decken einen Spannungsinpult-Bereich von 7-20 V ab.



10.1: Duemilanove



10.2: Mega

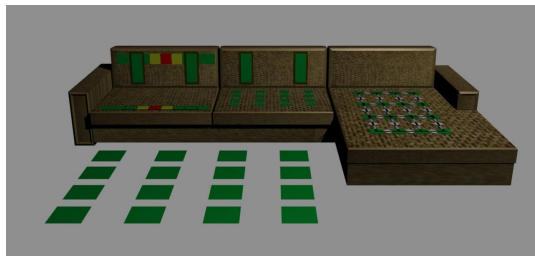
Abbildung 10: Arduino Microcontroller (Quelle: <http://www.arduino.cc>)

Das Wirkungsprinzip des *resistiven Sensors 2* (Vgl. Kap. 6.3) basiert auf einer *Wheatstoneschen Messbrücke*. Es handelt sich dabei um eine Messeinrichtung, mit welcher ohmsche Widerstände ermittelt werden können. Sie besteht aus vier Widerständen, sowie einer Spannungsquelle und einem Spannungsmessgerät. Die Widerstände sind parallel angeordnet und bilden paarweise einen Spannungsteiler. Ist das Widerstandsverhältnis in beiden Spannungsteilern gleich groß, so ist die Brückenschaltung ausgeglichen und über einen Spannungsabfall am Brückenweig ist ein bislang unbekannter Widerstand messbar. Für die eingesetzte Wheatstonesche Brücke wurden vier 100 Ω Widerstände verwendet. Dementsprechend musste der applizierte Sensorfaden pro Sensorpunkt einen exakten Widerstand von 100 Ω aufweisen. Die Wheatstonesche Brücke wird zwischen den Mikrocontroller und die Sensorfaden geschaltet. Zur Auswertung der erfassten Messwerte erfolgt die Weiterleitung selbiger an den Mac Mini. Beim resistiven Sensor 1 erfolgt die Bestimmung der Widerstandsänderung ohne die Zwischenschaltung weiterer elektronischer Bauteile (Vgl. Kap. 6.2).

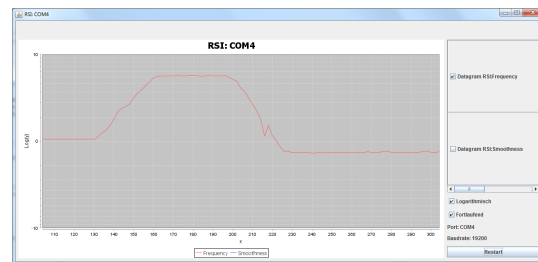
¹¹<http://www.arduino.cc/>

4.3.3 Software

Die Daten (Messwerte/Zahlen) des Mikrocontrollers, des CapSense sowie des Sensors aus der Sicherheitstechnik werden durch die auf dem Mac Mini installierte Software verarbeitet. Dabei erfolgt eine Vorverarbeitung (filtern etc.), die Aufbereitung sowie die Visualisierung der Daten. Diese kann auf zweierlei Art geschehen: Über eine direkte graphische Darstellung in Form einer Messkurve oder durch ein dreidimensionales Modell des Sofas.



11.1: 3D-Modell des Sofas



11.2: Messkurve

Abbildung 11: Bilder der Software

Die Messkurve arbeitet mit einer logarithmischen Skala, hiermit lassen sich auch kleine Messwertveränderungen darstellen.

Weiterführende Informationen zu Software und Elektronik sind der Masterarbeit von Oliver Dreschke (2011) zu entnehmen.

5 Physikalische Prüfungen oberflächenleitfähiger textiler Flächengebilde und Fäden

In diesem Abschnitt werden Prüfverfahren beschrieben, die zur Beurteilung der textilen und elektrischen Eigenschaften der vier oberflächenleitfähigen textilen Flächengebilde sowie fünf weiterer oberflächenleitfähiger Materialien dienen. Dazu werden Testkriterien definiert. Die Durchführung erfolgte zeitlich versetzt begleitend zu der in Kapitel 6 beschriebenen iterativen Musterentwicklung. Sie sind in diesem Kapitel zusammengefasst worden. Die Prüfungen erfolgen, wenn vorhanden, nach deutscher, europäischer oder internationaler Norm. Des Weiteren werden in Kapitel 5.5 Prüfungen erläutert, die an zwei Flächengebilden durchgeführt werden mussten, da Schwierigkeiten bei der Verarbeitung auftraten. Nach Durchführung der Prüfungen soll bestimmbar sein, welche textile Fläche den Anforderungen der Sensortypen gerecht wird, sowie welcher Faden als resistive Sensorstickerei und Leiterbahn geeignet ist.

Testkriterien

Die kapazitive Sensortechnologie wird für die Anwendung in einem Sofa entwickelt. Die Testkriterien entsprechen demnach den Anforderungen an Polsterbezüge wie sie in der DIN EN 14465:2003 + A1:2006 definiert werden. Die deutsche Fassung EN 14465:2003 + A1:2006 beschreibt Spezifikationen und Prüfverfahren für Möbelstoffe und nimmt eine Kategorisierung (A-D) vor. Die Prüfungen Scheuerbeständigkeit und Zugfestigkeit wurden gemäß der Norm durchgeführt. Die weiteren Prüfungen (elektrischer Oberflächenwiderstand, Kapazität und Fixiertest) erfolgten nach selbst definierten Maßstäben und statistischen Regeln. Diese Prüfungen wurden ausgewählt, da sie wesentlich zur Beurteilung der hier verwendeten textilen Flächen als Einsatz für einen Sensor sind. Tabelle 2 gibt einen Überblick zu den Prüfungen.

Wie Tabelle 3 zeigt, sind die Prüfungen an ausgewählten Materialien durchgeführt worden. Diese Auswahl erfolgte anhand des späteren Einsatzzwecks. Im Zusammenhang mit der elektrischen Oberflächenwiderstandsprüfung wurde auch das Bügelverhalten getestet. Es zeigte sich, dass das Ripstopgewebe (Picasso) bei Dampfeinwirkung einen nicht reversiblen Farbumschlag aufweist. Dieser Effekt beruht auf einem Oxidationsvorgang des Silbers. Des Weiteren konnte selbiger in geringerem Ausmaß als Alterungsprozess im Verlauf der Entwicklungsphase bei Ripstop (Picasso) und Charmeuse (Dali) sowie den Fäden ausgemacht werden. Der Farbton änderte sich von silbrig glänzend zu gräulich stumpf. Der Körper (offen) zeigte wenig Resonanz beim Bügeln. Dies ist auf Verbiegungen der Metallfäden zurückzuführen, die durch den dicken Titer

Tabelle 2: Übersicht der durchgeführten physikalischen Prüfungen

Physikalische Prüfungen		
Prüfung	Beschreibung	Norm
Scheuerbeständigkeit	Beurteilung des Oberflächenverhaltens durch Bestimmung der Scheuerbeständigkeit von leitfähigen textilen Flächengebilden mit dem Martindale-Verfahren bis zur Materialzerstörung	DIN EN ISO 12947-2
Zugprüfung	Bestimmung der Höchstzug- und Bruchkraft bei textilen Flächengebilden mit dem Zugprüfgerät	EN ISO 13934-1
Elektrischer Oberflächenwiderstand	Ermittlung der elektrischen Leitfähigkeit an Oberflächen von textilen Flächengebilden und Fäden	keine
Elektrische Kapazität	Ermittlung der Kapazitätsveränderung bei Annäherung einer Gegenelektrode (Masse) an die Messelektrode	keine
Fixiertest	Prüfung verschiedener Klebeeinlagen und Aufbügelländern auf optische, funktionale und haptische Eigenschaften	keine

der Einzelfilamente thermisch kaum zu glätten sind. Das Material weist dementsprechend beständig eine wellige Oberfläche auf.

Tabelle 3: Zuordnung der Prüfungen zu den Materialien

Prüfungszuordnung									
Prüfungen	Material								
	Köper 2/1 (novonic CWF Gewebe)	Ripstop (Picasso)	Charmeuse (Dali)	Köper (offen)	Halbzwirnware	Maschenware (ES-D-Material)	Velo-stat	Zwirn (weich gedreht)	Zwirn (hart gedreht)
Scheuerbeständigkeit	x	x	x	x					
Zugprüfung	x	x	x	x					
Elektrischer Oberflächenwiderstand	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Elektrische Kapazität	x	x	x	x					
Fixiertest			x						

Neben dem Bügelverhalten erfolgte auch die Prüfung der Vernähbarkeit mit Doppelstepstich und 4 Stichen pro Zentimeter. Hierbei zeigte der Köper (offen) beim Prüfen der Nahtschiefbefestigkeit Defizite. Dass Charmeuse (Dali) besitzt eine sehr geringe Dimensionsstabilität, was zum Nahtbruch bei Zugausübung sowie ausgeprägten Flächenverformungen führte. Auf Grund der genannten Verarbeitungsschwierigkeiten erfolgten Fixiertests mit Einlagen und Aufbügelländern.

5.1 Scheuerbeständigkeit

In diesem Abschnitt wird ein Prüfverfahren nach *DIN EN ISO 12947-2: 1998 +AC:2006 (D)* und Anhang 1 (normativ) der Norm *EN 144465:2003* beschrieben, das zur Bestimmung des Verhaltens textiler Oberflächen gegenüber reibender Beanspruchung dient. Der normative Anhang legt die Veränderungen gegenüber EN ISO 12947-2 fest, die für die Beurteilung von Möbelstoffen erforderlich sind. Die Scheuerbeanspruchung zählt zu den wichtigsten Eigenschaften zur Beurteilung des Gebrauchsverhaltens, da der Verschleiß von Möbelbezugsstoffe im hohen Maße auf Scheuerbeanspruchung im Gebrauch zurückzuführen ist.

„Scheuerbeständigkeit ist die Widerstandsfähigkeit des Textils gegen eine Scheuerbeanspruchung unter bestimmten Bedingungen, die nach der Veränderung des Warenbildes oder signifikanter Eigenschaften des Textils beurteilt wird.“ (Reumann, 2000, S. 498)

Merkmale von Scheuerverschleiß sind Oberflächenveränderungen wie: Aufrauhung, Pillingbildung, Farbtonänderung, Glanzstellenbildung, oder „Zieher“-bildung bei Maschenware, Gewichtsverlust oder Lochbildung. Bei der Martindale Prüfung wird mit einer definierten Scheuerbewegung, der sog. Lissajour-Figur, geprüft. Im vorliegenden Fall dient die Martindale-Scheuerprüfung zur Bestimmung des Zeitpunktes der Messprobenzerstörung durch Lochbildung (Endpunkt der Prüfung) und ermöglicht damit eine Aussage über eine voraussichtliche „Lebensdauer“ bzw. Widerstandsfähigkeit des Materials. Die Zerstörung der Messprobe ist erreicht, wenn bei Flachgeweben 3 Fäden vollständig zerstört sind oder in einem Maschenstoff ein Loch wegen eines vollständig zerstörten Fadens entsteht.

Die Norm EN 14465:2003 + A1:2006 kategorisiert die Scheuerbeständigkeit nach der Note A, B und C. Die erforderlichen Scheuertouren für Flachgewebe und Maschenware zur Erfüllung dieser Anforderung zeigt Tabelle 4.

Tabelle 4: Kategorien zur Bewertung der Scheuerbeständigkeit von Flachgeweben und Maschenware, Quelle: Norm EN 14465:2003 + A1:2006, Anhang B (informativ), Tabellenausschnitt

	A	B	C
Flachgewebe	> 35	12 bis 30	4 bis 10
Maschenware	> 35	12 bis 30	5 bis 10
	(Scheuertouren) (x1000)		

Geprüft wurde mit einem nach DIN EN ISO 12947-1 standardisierten Martindale-Scheuerprüfgerät.



12.1: Martindale-Gerät



12.2: Flusenablagerung bei der Scheuerprüfung

Abbildung 12: Martindale-Versuch

Vorbereitung

Für die *Scheuerprüfung* werden 4 Laboratoriumsproben über die gesamte Breite und mit einem Mindestabstand von 150 mm von der Kante der zu prüfenden textilen Fläche entnommen. Die Proben der Wirkware sowie der Gewebe haben einen Durchmesser von $(38,0 + 0,5 - 0)$ mm und werden so ausgestanzt, dass sie jeweils unterschiedliche Maschenreihen und Maschenstäbchen (Kett- und Schussfäden) enthalten. Die entsprechende Messprobenunterlage aus Schaumstoff besitzt die gleichen Maße. Das Scheuermittel, mit einem Durchmesser von 140 mm, sowie die zugehörige Scheuermittelunterlage aus Filz ($140 \text{ mm} + 0,5 - 0 \text{ mm}$), werden mit Stanze oder Schere zugeschnitten.

Durchführung

Für die *Scheuerprüfung* werden die Messproben auf einer polyetherurethan Schaumstoffunterlage von 3 mm Dicke, $30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ Dichte und einer Eindruckhärte von 5,8 kPa im Probenhalter befestigt und mit (795 ± 7) g, entsprechend einem Nenndruck von 12 kPa, belastet. Der Druck entspricht der Vorgabe für Polsterbezugsstoffe. Es wurde mit Schaumstoffunterlage geprüft, da die Flächengewichte der Proben $\leq 500 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$ betragen. Die Prüfung erfolgte mit vier Materialien (siehe Kap. 4.2 und Anhang A.2):

- Köper (2/1) (novonic CWF Gewebe)
- Ripstop (Picasso)
- Charmeuse (Dali)
- Köper (offen)

Da es sich bei den zu untersuchenden Laboratoriumsproben um Möbelstoffe handelt, wird entsprechend der folgenden Intervalle in Tabelle 5 bewertet.

Tabelle 5: Bewertungsintervalle für die Scheuerprüfung, Quelle: EN 14465:2003 + A1:2006, Anhang A, S. 12

Bewertungsintervalle (Scheuertouren)
3 000 - 4 000 - 5 000 - 6 000
8 000 - 10 000 - 12 000 - 14 000 - 16 000 - 18 000 - 20 000
25 000 - 30 000 - 35 000 - 40 000 - 45 000
50 000 - 060 000 - (+ alle zusätzlichen 10 000 Scheuertouren)*
* Die Prüfung muss bei 100 000 Scheuertouren gestoppt werden, wenn der Endpunkt nicht erreicht wird.

Normative Abweichung

Das nach ISO 139 definierte Normklima mit einer Temperatur von $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ und einer relativen Luftfeuchte von $(65 \pm 5)\%$ konnte im Durchführungslabor der Hochschule für Angewandte Wissenschaften nur hinsichtlich der Temperatur eingehalten werden. Die Luftfeuchte lag bei $(35 \pm 2)\%$.

Auf die entsprechend der Norm EN 14465:2003 + A1:2006 vorgesehene Bewertung der Farbänderung nach 3.000 Scheuertouren wurde verzichtet, da sich die zu prüfenden Materialproben in der endgültigen Verarbeitung nicht im Sichtbereich des Anwenders befinden und die Untersuchung keinen weiteren Hinweis auf die Strapazierbarkeit des Materials erbringen. Eine fünfte Referenzprobe wurde nicht geprüft.

Prüfbericht

Den Messergebnissen ist zu entnehmen, dass der Köper (2/1) als einziges Material die Anforderungen der Kategorie A für Möbelstoffe erfüllt. Die anderen textilen Flächen weisen eine deutliche schlechtere Scheuerbeständigkeit auf.

Tabelle 6: Prüfergebnisse der Scheuerbeständigkeit von Gewebe und Gewirk

Ergebnisse der Scheuerprüfung		
	Kategorie A	Kategorie B
Gewebe		
Köper (2/1)	100	
Ripstop (Picasso)		32,5
Köper (offen)		26,3
Maschenware		
Charmeuse (Dali)		18
	(Scheuertouren) (x1 000)	

Die detaillierten Messwerte sind dem Anhang A.2 zu entnehmen.

5.2 Zugfestigkeit

Die Zugfestigkeit nach *EN ISO 13 934-1:1999* definiert Zugeigenschaften textiler Flächengebilde welche mit dem Streifen-Zugversuch und einem nach EN 30012-1 genormten Zugprüfgerät mit konstanter Prüfgeschwindigkeit (CRE) ermittelt werden. Dabei wird eine textile Messprobe vorgegebener Größe bei konstanter Verformungsgeschwindigkeit bis zum Bruch gedehnt. Die Höchstzugkraft sowie die Höchstzugkraft-Dehnung werden aufgezeichnet. Die Höchstzugkraft F_h ist die maximale Kraft, die während des Zugversuchs in Zugrichtung auf die Messprobe einwirkt. Die nachfolgende Kraft-Dehnungskurve (Abb. 13) zeigt die Zugbeanspruchung bis zur Bruchdehnung wie sie charakteristischer Weise bei Textilien auftritt.

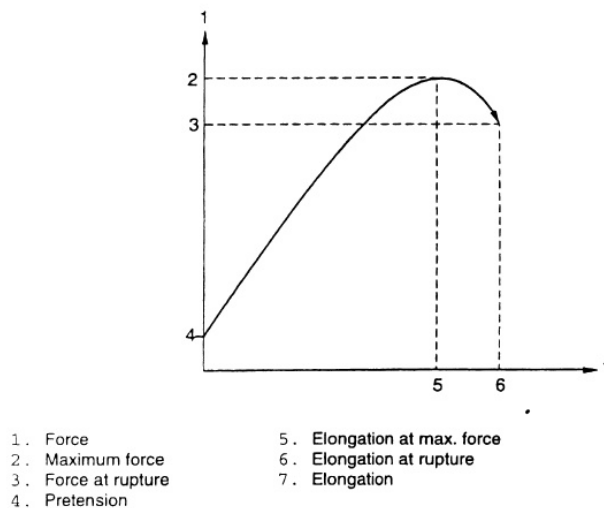


Abbildung 13: Kraftdehnungskurve (Quelle: EN ISO 13934-1 : 1999)

Vorbereitung

Es werden für jedes zu prüfende Flächengebilde je ein Satz Messproben in Kett- sowie in Schussrichtung mit einer Breite von $(50 \pm 0,5)$ mm (ohne Fransen) und der Gesamtlänge von 350 mm bei einer Einspannlänge von (200 ± 1) mm vorbereitet. Ein Satz besteht aus fünf Messproben. Zur Gewährleistung eines optimalen Prüfergebnisses werden zu beiden Seiten der entnommenen Messprobe die gleiche Anzahl Längsfäden herausgelöst, sodass während der Prüfung keine weiteren herausgleiten. Die Breite der Fransen variiert je nach Gewebedichte.

Durchführung

Die Prüfparameter entsprechen gemäß der freien Einspannlänge sowie einer

Höchstzugkraft-Dehnung des Flächengebildes von (≥ 8 bis ≤ 75 %) einer Dehnungsgeschwindigkeit von ($50 \frac{\%}{\text{min}}$) und einer Verformungsgeschwindigkeit von ($100 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$). Aufgrund des Flächengewichts von ($\leq 200 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$) beträgt die Vorspannung 2 N. Folgende Materialien wurden geprüft:

- Köper (2/1) (novonic CWF Gewebe)
- Ripstop (Picasso)
- Charmeuse (Dali)
- Köper (einfach)

Normative Abweichung

Das nach ISO 139 definierte Normklima mit einer Temperatur von (20 ± 2)°C und einer relativen Luftfeuchte von (65 ± 5)% konnte im Durchführungslabor der Hochschule für Angewandte Wissenschaften nur hinsichtlich der Temperatur eingehalten werden. Die Luftfeuchte lag bei (35 ± 2)%.

Da es sich bei dem zu prüfendem Gewebe Picasso um eine Musterprobe von begrenzter Größe handelt, konnten nur drei statt fünf Laboratoriumsproben geprüft werden. Bei der Probennahme wurde der vorgegebene Mindestabstands von 150 mm von der Schnittkante unterschritten.

Prüfbericht

Die nachfolgende Tabelle 7 zeigt die nach EN ISO 14465:2003 + A1: 2006 definierten Kategorien, nach welchen bewertet wurde.

Tabelle 7: Kategorien der Zugprüfung, Quelle: Norm EN ISO 14465:2003 + A1:2006.

Bewertungs-Kategorien				
	A	B	C	D
N	≥ 600	≥ 400	≥ 350	≥ 250

Bei der Zugprüfung ergaben sich folgende Werte bei den vier untersuchten Messproben (Tabelle 8):

Der Köper (2/1) erfüllt als einziges Material sowohl in Kett als auch Zugrichtung die Anforderungen der Kategorie A. Der Ripstop (Picasso) sowie der Köper (offen) schneiden deutlich schlechter ab. Da das Charmeuse (Dali) als Kettenwirkware eine extrem große

Tabelle 8: Ergebnisreihe der durchgeführten Zugversuche nach EN ISO 13934-1

Messproben	Zugfestigkeitsprüfung			
	Ketttrichtung		Schussrichtung	
	Zugkraft (%)	Dehnung (%)	Zugkraft (%)	Dehnung (%)
Köper (2/1)	687 A	55	817 A	66
Ripstop (Picasso)	198 D	38 ---	177 D	36 ---
Charmeuse (Dali)	nicht durchgeführt ---			
Köper (offen)	323 C	45	361 B	28

Dehnung aufweist, und die Fläche fixiert nicht verarbeitet werden sollte, wurde auf die Zugprüfung verzichtet. Detaillierte Angaben zum Prüfungsverlauf der einzelnen Messproben lassen sich dem Anhang A.3 entnehmen.

5.3 Elektrischer Oberflächenwiderstand

Das folgende Kapitel behandelt Messversuche zur Ermittlung des elektrischen Oberflächenwiderstands bei textilen Flächen und Fäden sowie einer Folie und Klettverschluss. Diese sind im Einzelnen: Köper (2/1), Ripstop (Picasso), Charmeuse (Dali), Köper (offen), Vlies (Rubens), Halbzwirnware, Maschenware (ESD-Material), Velostat, Klettverschluss, Zwirn (weich gedreht) und Zwirn (hart gedreht) (Vgl. Kap. 4.2). Der Oberflächenwiderstand, angegeben in Ohm [Ω], beschreibt den horizontalen Widerstand längs, quer oder kreisförmig zur Probenoberfläche (Reumann, 2000, S. 792). Seine Größe wird u.a. von der Messanordnung, der Luftfeuchtigkeit sowie Verunreinigungen auf der Oberfläche beeinflusst.

Die Prüfung erfolgte z.T. mit unbehandelten als auch behandelten Proben und sollte eine mögliche Auswirkung selbiger auf die Oberflächenleitfähigkeit untersuchen. Die Behandlungen sind:

1. Gebügelt ohne Dampf
2. Gebügelt mit Dampf
3. Gewaschen

Für die Versuche erfolgte der Bau eines Messgrößenaufnehmers, da keiner vorhanden war. Der Aufbau ist einer Entwicklung des Forschungsinstitutes Denken-

dorf nachempfunden, welches sich beim Forschungsvorhaben Elektrisch leitfähige Drucktinten für textile Anwendungen¹² mit Oberflächenwiderständen beschäftigte. Der Eigenbau besteht aus zwei im Abstand von 50 mm parallel angeordneten Messsonden (Elektroden) mit den Maßen von 50 mm Breite x 38 mm Höhe x 10 mm Dicke, die von einem quadratischen Plexiglasblock gehalten werden. Zwei in diesem befestigte Schrauben ermöglichen die Kontaktierung der Elektroden und über zwei Krokodilklemmen den Anschluss an ein Ohmmeter. Ein Gewicht von 934 g verbessert den Kontakt von Elektroden und zu prüfender Fläche, sodass inklusive Messgestell mit einem Gesamtanpressdruck von 1 kg geprüft wird. Mit diesem in Abbildung 14 gezeigten Versuchsaufbau ist auf einer quadratischen Testfläche von 25 cm² der Oberflächenwiderstand bestimmbar.

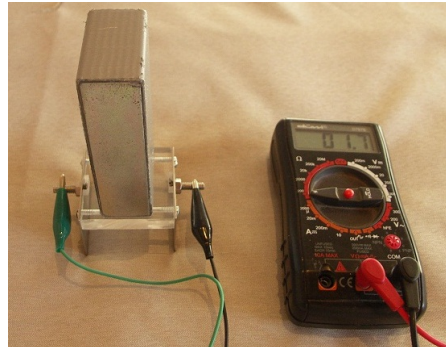


Abbildung 14:
Messgrößenaufnehmer für den
Oberflächenwiderstand

Vorbereitung

Die Vorbereitung der Materialien beinhaltet den Bügel-, den Wasch- sowie den Relaxionsprozess. Für die Probennahme erfolgte der Zuschnitt vier ausreichend großer Flächen je Material. Der anschließende Bügelvorgang mit und ohne Dampf auf einer variotest Bügelanlage bei 120° C, 20 s Bügeldauer und 10 s Absaugzeit wurde an je zwei Materialprobe durchgeführt. Alle Proben ruhten danach 24 h zur Klimaangleichung im spannungslos ausgebreitetem Zustand auf einer glatten, isolierenden Unterlage bei 20° C und 52 % rel. Luftfeuchte.

Durchführung

Zur Ermittlung des Oberflächenwiderstands wurde der Messfühler in Kett-/Schussrichtung auf der textile Fläche platziert, sodass die Elektrodenflächen parallel zu den Schuss-/Kettfäden laufen. Je Probe erfolgten zehn Messungen in Kett- und Schussrichtung. Für eine statistisch gute Erfassung der Fläche wurde für jeden Messwert ein neuer Bereich mit jeweils anderen Schuss- und Kettfäden geprüft. Es zeigte sich, dass mit dem Köper (offen), der Halbwirnware sowie der Maschenware (ESD-Material) keine Messung durchführbar war. Dies beruht auf der Tatsache, dass die Anzahl leitfähiger Fäden sehr gering ist und selbige nicht durch eine Berührung der Oberfläche kontaktierbar

¹²Vgl. AIF-Forschungsvorhaben Nr.: 14318 N: Elektrisch leitfähige Drucktinten für textile Anwendungen; Abschlussbericht für den Zeitraum: 1.02.2005 bis 31.01.2007 / Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf.

sind. Die Messwerte des Vliesstoffs lagen im $k\Omega$ Bereich und zeugen für einen hohen Oberflächenwiderstand. Das Velostat wurde im $k\Omega$ Bereich gemessen, alle anderen Proben ergaben gute Messwerte im Ω Bereich.

Prüfbericht

Den in Tabelle 9 dargestellten Messergebnissen ist zu entnehmen, dass der *Klettverschluss* mit $0,9 \Omega$ über den geringsten Oberflächenwiderstand verfügt. Dieses Ergebnis ist sehr positiv und spricht für die Verwendung des selbigem als Anschlusstechnik (Vgl. Kap. 6.4.3), da für einen guten Kontakt eine hohe Leitfähigkeit erforderlich ist. Die für die Prototypen genutzten Materialien *Körper (2/1)* und *Zwirn (hart gedreht)* wurden ferner gebügelt und gewaschen. Es zeigte sich, dass durch diese Behandlung der Oberflächenwiderstand sinkt. Dies erleichtert die Verarbeitung und den Gebrauch.

Der Oberflächenwiderstand des Körper (offen) lies sich nicht messen. Ursache waren die nicht über die Oberfläche kontaktierbaren Metallfäden. Wie sich in der Musterentwicklung zeigte führt dieser Effekt dazu, dass ein Kontakt über einen Druckknopf nur einen mäßig guten Kontakt herstellt (Vgl. Kap. 6.1.1).

Tabelle 9: Oberflächenwiderstandsmessung

Oberflächenwiderstandsmessung								
	Körper 2/1 (novonic CWF Ge- webe)	Ripstop (Picasso)	Charmeuse (Dali)	Klettver- schluss	Zwirn (weich gedreht)	Zwirn (hart ge- dreht)	Vlies (Rubens)	Velostat
Ø	[$\Omega / 25 \text{ cm}^2$]*				[$\Omega \text{ m}$]		[$k\Omega / 25 \text{ cm}^2$]	
unbehandelt	3,8	1,7	1,8	0,9	108	92	1,3	32
Gebügelt ohne Dampf	2,7					74		
Gebügelt mit Dampf	3,5					76		
Gewaschen	2,3					79		
*Gemessen bei Temp: 20° C rel. Luftfeuchte: 52%								

Bei den Flächen zeigt sich das Ripstop-Gewebe mit einem Widerstand von $1,7 \frac{\Omega}{\text{cm}^2}$ als leitfähigstes Material im niederohmigen Bereich. Dieser Effekt basiert auf der vollflächigen Versilberung der Einzelfasern, die eine sehr gute Kontaktierung ermöglichen. Obwohl auch das *Charmeuse (Dali)* aus rundum vollversilberten Nylonfäden besteht, enthält es wegen der lockeren Maschenstruktur einen geringerer Silberanteil auf der

Testfläche. Der *Köper (2/1)* hat durch den recht hohen Silberanteil von 23% eine gute Leitfähigkeit. Durch die als Vollzwirn verarbeiteten Silberfilamente erfassen die Elektroden aber z.T. metallfreie Stellen des Zwirns. Demzufolge ist eine geringere Oberflächenleitfähigkeit als beim Ripstop-Gewebe messbar. Da keine Angaben zu der genauen Materialzusammensetzung beim Ripstop-Gewebe und dem Charmeuse vorliegen, ist es nicht auszuschließen, dass die sehr gute Oberflächenleitfähigkeit neben der Flächenkonstruktion auch auf den hohen Silberanteil zurück zu führen ist. Es wäre zu prüfen, ob der Köper und das Ripstop-Gewebe bei der Messung des Durchgangswiderstands ähnliche Werte aufweisen.

Im Vergleich von hart und weich gedrehtem Zwirn verfügt der *Zwirn (hart gedreht)* mit $92 \frac{\Omega}{m}$ über einen geringeren Widerstand als der *Zwirn (weich gedreht)* mit $108 \frac{\Omega}{m}$. Da beide Fäden von gleichem Gewicht sind ($0,1 \frac{g}{m}$), ist dieser Effekt auf die Skalierung der Metallmenge (Silber) oder das Veredlungsverfahren (Galvanisieren, Versilbern, Aufdampfen usw.) zurückzuführen.

Das *Velostat* ist mit $30 \frac{k\Omega}{cm^2}$ im hochohmigen Bereich und eignet sich damit als „Halbleiter“ im resistiven Sensor 1 (Vgl. Kap. 6.2). Im Gegensatz dazu ist der Oberflächenwiderstand des Vliesstoffes für diesen Einsatz zu gering. Eine Auflistung der Einzelmesswerte ist dem Anhang A.4 und A.5 zu entnehmen.

5.4 Elektrische Kapazität

Die folgende Messreihe wurde zur Ermittlung der Distanz, bei welcher eine Annäherung sensorisch erfasst werden kann, durchgeführt. Darüber hinaus sollten Vergleichswerte von vier leitfähigen Materialien sowie unterschiedlichen Elektrodengrößen bei festgelegten Abständen geschaffen werden. Die entscheidende Messgröße stellt dabei die elektrische Kapazität der Messelektrode (leitfähiges Textil) dar.

Die *elektrische Kapazität* (von lateinisch *capacitas* = Fassungsvermögen, Formelzeichen C = Coulomb) ist eine physikalische Größe aus der Elektrostatik. Sie drückt die Speicherfähigkeit eines Systems für eine Ladung Q aus. Je größer die Kapazität, desto mehr Ladung kann ein System aufnehmen (Reumann, 2000, S.781). Durch die Annäherung einer bewegten Fläche (Masse) an die Messelektrode verändert sich, wie in Abbildung 15 dargestellt, das elektrische Feld und damit die Kapazität der Messelektrode. Je dichter sich die Masse an der Messelektrode befindet, desto größer ist die Kapazität. Die Schirmelektrode bewirkt einen gerichteten Feldaufbau zwischen der Messelektrode und der bewegten Fläche, sodass nur Veränderungen der bewegten

Fläche detektiert werden.

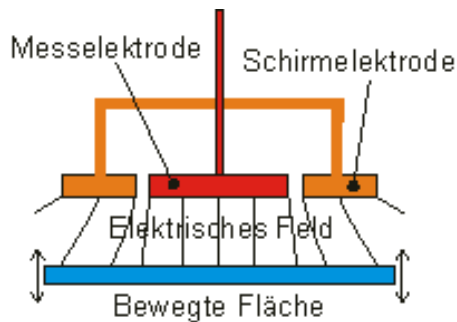
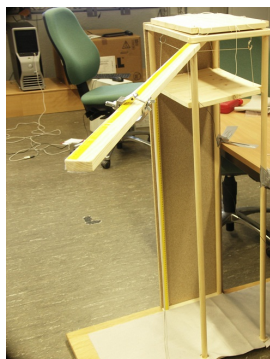


Abbildung 15: Wirkungsweise eines kapazitiven Sensors, (Quelle: http://de.factolex.com/Kapazitiver_Sensor)

Die Mess- sowie die Schirmelektrode (Guard) bestehen im vorliegenden Fall aus leitfähigem Textil, die Veränderung des kapazitiven Feldes wird durch die Annäherung eines Objektes (Mensch) erzeugt.

Die Prüfung erfolgte mit einem in Eigenfertigung gebauten Messgerät. Es besteht aus einer rechteckigen Fuß- und Deckplatte aus Holz mit den Maßen von 40 cm Breite x 29 cm Länge, welche durch vier Rundholzstäbe von 3 mm Durchmesser und einer Länge von 120 cm getragen werden. Eine Seiten- sowie die Rückwand sind zusätzlich durch Spanplatten stabilisiert. Über ein Seilsystem ist eine auf Masse gesetzte Metallplatte aus ST 37 Baustahl mit den Maßen von 210 mm Breite x 310 mm Länge x 1,5 mm Dicke gegen die Messelektrode bewegbar. Ein 1,50 m langer Messarm mit einer Halbschelle ermöglicht die Steuerung des Seilsystems von einer Position außerhalb des Messaufbaus und verhindert somit Störeinflüsse beim kapazitiven Feld. Zum Ablesen der Messabstände ist ein Maßband an der Seitenwand sowie auf dem Messarm angebracht.



16.1: (a)



16.2: (b)



16.3: (c)



16.4: (d)

Abbildung 16: Aufbau des Messgeräts zur Ermittlung der Kapazität

Vorbereitung

Die Kapazitätsmessung erfolgte mit Elektroden in vier verschiedenen Größen (siehe Auflistung Elektroden 1-4). Es wurde je Größe ein Satz Messelektroden, bestehend aus drei Prüflingen, entsprechend dem zu testenden Material zugeschnitten. Um eine einheitliche Basis zum Vergleich der Stoffproben zu schaffen, wurde die Versuchsreihe jeweils mit 100 cm^2 Elektroden durchgeführt. Die 200 cm^2 große Elektrode sollte eine Aussage über ein mögliches proportionales Verhalten von Fläche und Kapazität ermöglichen. Die Maße von zwei weiteren Versuchsdurchführungen entsprechen den Originalgrößen der inneren und äußeren Elektroden. Die Elektroden sind:

1. Alle Materialien: 100 cm^2 (Breite 10 cm x Höhe 10 cm)
2. Köper (2/1): 200 cm^2 (Breite 14,1 cm x Höhe 14,1 cm)
3. Köper (2/1): 306 cm^2 (Breite 9 cm x Höhe 34 cm) \Rightarrow Originalgröße innere Elektroden
4. Köper (2/1): 3640 cm^2 (Breite 91 cm x Höhe 40 cm) \Rightarrow Originalgröße äußere Elektrode

Die Materialauswahl für die Elektroden erfolgte anhand vergleichsweise sehr guter Ergebnisse des Köpers 2/1 bei den textilen Prüfungen (Zug- und Scheuerprüfung), die für den Einsatz im weiteren Entwicklungsprozess sprechen. Der Ripstop, Charmeuse und Köper (offen)(Vgl. Kap. 4.2) schufen eine generelle Vergleichsbasis in Form der 100 cm^2 Elektrode.

Durchführung

Für die Messung wurde die jeweils zu testende Elektrode an den Sensor angeschlossen und die Metallplatte mit dem Minuspol verbunden. Im Falle der Elektroden 1-3 kam das CapSense-Toolkit zum Einsatz, die Messwerte der Elektrode 4 werden an den Sensor aus der Sicherheitstechnik weitergeleitet. Die Messreihe startete mit einem Abstand von 100 cm zwischen Messelektrode und Masse. Über die graphische Kurvendarstellung auf dem Monitor ließ sich eine detektierte Annäherung visualisieren und der exakte Wert war bestimmbar. Der dazugehörige Abstand konnte vom Messgerät abgelesen werden.

Prüfbericht

Die Messwerte für die vier verschiedenen Materialien gleicher Größe (100 cm^2) liegen mit Werten von 15 -23 cm in ähnlichem Bereich. Eine Vergrößerung der Sensorfläche (Köper (2/1)) führt zu einer deutlich besseren und damit früheren Detektierung, wie auch

Abbildung 17 zeigt: 15 cm bei 100 cm^2 , und 90 cm bei 3640 cm^2 .

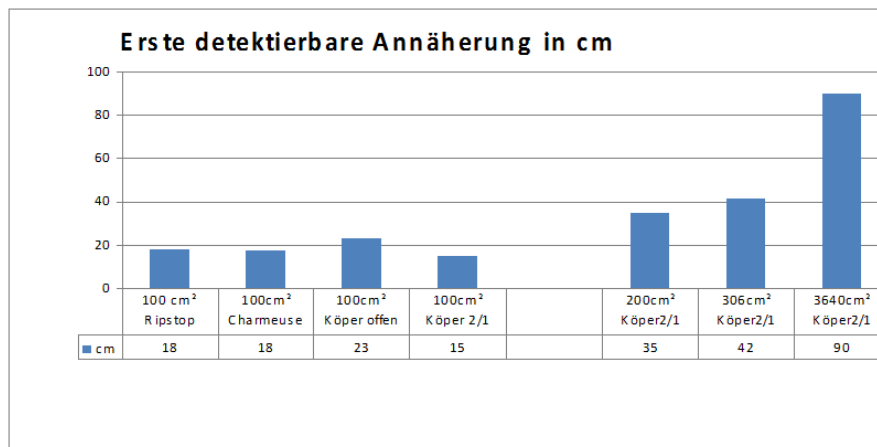
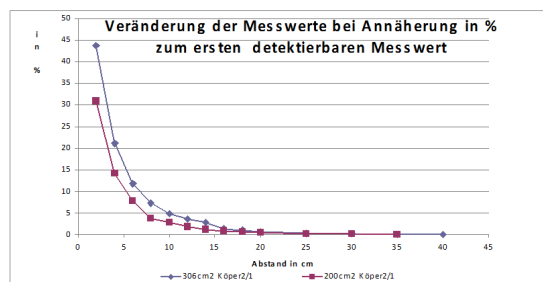
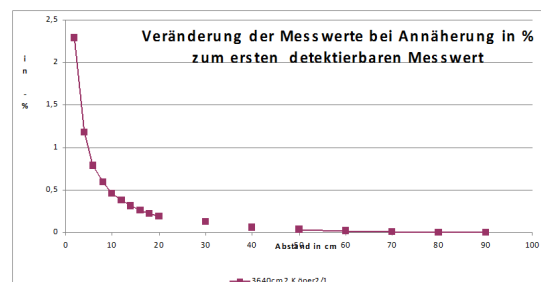


Abbildung 17: Erste detektierbare Annäherung bei verschiedenen Materialien und Elektrodengrößen

Betrachtet man die relativen Veränderungen der Messwerte, beginnend mit dem ersten detektierbaren Messwert, so sind deutlich messbare Veränderungen festzustellen. Die Veränderungen sind umso größer, je näher die bewegte Fläche (Masse) der Elektrode kommt. Die Kurven (Abbildung 18.1 und 18.2) zeigen einen logarithmischen Verlauf. Alle Sensoren, unabhängig von der Elektrodengröße, weisen ähnliche logarithmische Verläufe auf. Die detaillierten Messwerte sind dem Anhang A.6 zu entnehmen.



18.1:



18.2:

Abbildung 18: Veränderung der Messwerte bei Annäherung in % zum ersten detektierbaren Messwert bei Körper (2/1) und unterschiedlichen Elektrodengrößen

5.5 Fixiertest

Das folgende Kapitel erörtert durchgeführte Fixiertests zur Flächenstabilisierung der Kettenwirkware (Charmeuse) sowie des Köpers (offen)¹³. Des Weiteren soll ein Verfahren für eine stabile Schließnaht beim Charmeuse gefunden werden.

Das Charmeuse besitzt eine ausgeprägte Elastizität mit bleibender Dehnung in Richtung der Maschenreihen sowie eine sehr glatte Warenoberfläche. Dies hat bei geringer Zugausübung eine starke Flächendeformation zur Folge und macht den Einsatz als Kissenbezugsstoff hinfällig. Eine ausgeprägte Dimensionsstabilität ist zudem für ein gutes sensorisches Ergebnis wichtig. Aus diesen Gründen erfolgten Fixiertests mit einer Gewebeeinlage sowie einer Vlieseinlage mit und ohne Längsverstärkung¹⁴, die zu den in Tabelle 10 gelisteten Ergebnissen führten:

Tabelle 10: Fixiertest mit Einlagen

Fixiertest mit Einlagen						
Test	Einlage	Haftung	Formstabilität	Optik	Haptik	Praxistauglich
1	Vlies mit Längsverstärkung, Längsverstärkung entgegen der Dehnung	sehr gut	sehr gut	sehr gut	weicher Griff, geringe Änderung der Materialsteifigkeit	ja
2	Vlies	sehr gut	Rest elastizität	gut	etwas steifer Griff	nein, da Restelastizität vorhanden
3	Gewebe	sehr gering*	sehr gut	gut	sehr steifer Griff	nein, da sehr steifer Griff und hohe Materialkosten
* erhöhte Temperatur verbessert die Haftung aber führt zum Schrumpf des Charmeuse (Kettenwirkware)						

Durch die Flächenfixierung ließ sich ebenfalls der Effekt des Nahtbruch eliminieren. Dieser ergab sich bei geringer Dehnung einer Schließnaht in Maschenreihenrichtung, ausgeführt mit Doppelsteppstich und 4 Stiche pro Zentimeter. Bei Nahtversuchen im unfixierten Zustand zeigte sich, dass eine Überwendlichnaht im Vergleich zu einem Kettenstich oder einem Doppelsteppstich mit 6 Stichen pro Zentimeter die höchste Elastizität ausweist und daher als Fügeverfahren des Kettengewirks geeignet ist. Ist die Fläche fixiert, kann die Schließnaht mit dem eingangs beschriebenen Doppelsteppstichs ausgeführt werden.

Für eine bessere Nahtschiebefestigkeit beim Köper (offen) wurden ein Vliesband,

¹³Vgl. Mappenanlage

¹⁴Vgl. Mappenanlage

ein Gewebiband (gerader Fadenlauf) sowie ein Gewebiband (schräger Fadenlauf)¹⁵ getestet. Mit letztem genannten konnte eine sehr gute Gewebestabilität mit hohem Nahtschiebewiderstand (siehe Tabelle 11) erzielt werden.

Tabelle 11: Fixiertest mit Aufbügelländern

Fixiertest mit Aufbügelländern						
Test	Aufbügelland	Haftung	Formstabilität	Optik	Haptik	Praxistauglichkeit
1	Gewebe (gerader Fadenverlauf)	ungenügend	gut	sehr gut	weicher Griff und geringe Veränderung der Materialsteifigkeit	nein
2	Gewebe (schräger Fadenverlauf)	gut	sehr gut	Band auf der Waren- oberseite sichtbar *	steifer Griff	ja
3	Vlies	sehr gut	unzureichend	sehr gut	weicher Griff und geringe Veränderung der Materialsteifigkeit	nein

* Optik akzeptabel

Prüfbericht

Zur Verarbeitung der Kettenwirkware muss das Material in der Arbeitsvorbereitung mit einer längsverstärkten Einlage stabilisiert werden. Im unfixierten Zustand konnte mit der Überwendlichnaht ein Fügeprinzip angewandt werden, welches zwei Lagen in Maschenstäbchen- und Maschenreihenrichtung gut verbindet. Bei fixierter Fläche können Schließnähte mit Doppelsteppstich (4 Stiche pro cm) ausgeführt werden. Trotz der sehr guten leitfähigen Eigenschaft sowie eines guten Ergebnisses (Kategorie B) bei der Scheuerprüfung, die ohne Einlage erfolgte und der Kapazitätsprüfung, wird von der Verwendung abgesehen, da die Fixierung aller Schnittteile erheblichen Zusatzaufwand und Kosten in Zuschnitt und Arbeitsvorbereitung mit sich bringt. Die Einlage unterliegt im Kissen zudem Scheuerkräften, sodass die Materialbeständigkeit sowie die Haftung von Oberstoff und Einlage unter diesen Bedingungen zu prüfen wären.

5.6 Auswertung der Prüfungsergebnisse

Das Material Köper (2/1) erfüllt als einziges sowohl die textilen wie auch die elektrischen Anforderungen. Bei der Materialauswahl lag der Entscheidungsschwerpunkt auf den textilen Eigenschaften. Der Ripstop sowie das Charmeuse fallen bei den Anforderungen an Scheuerbeständigkeit und Zugfestigkeit durch. Der Köper (offen) zeigt ebenfalls Probleme bei diesen Anforderungen. Hinzu kommt bei selbigem die Problematik der sehr schlecht kontaktierbaren Metallfäden.

¹⁵Vgl. Mappenanlage

Auf Basis dieser Prüfungsergebnisse wurde das Material Köper (2/1) für die Entwicklung des Prototyps ausgewählt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Übersicht 12 zusammengefasst:

Tabelle 12: Übersicht der Prüfungsergebnisse

Prüfungsergebnisse						
Prüfungen	Material					
	Köper 2/1 (novonic CWF Gewebe)	Ripstop (Picasso)	Charmeuse(Dali)	Köper (offen)	Zwirn (weich gedreht)	Zwirn (hart gedreht)
Scheuerbeständigkeit	Sehr gut A >100000	Mittel B 32500	Mittel B 26300	Schlecht B 18000		
Zugprüfung	Sehr gut A/A	Schlecht D/D	Sehr schlecht	Schlecht C/D		
Elektrischer Oberflächenwiderstand	Gut 3,8Ω	Gut 1,7Ω	Gut 1,8Ω	Schlecht Nicht messbar	Gut 108Ω	Gut 92Ω
Elektrische Kapazität Erste detektierbare Annäherung	Gut 15,4 cm	Gut 18,1 cm	Gut 17,5 cm	Gut 23 cm		
Fixiertest			Zu aufwändig			

6 Mustererstellung

Der Schwerpunkt der Musterentwicklung lag auf der Untersuchung verschiedener Konstruktionstypen von resistiven und kapazitiven Sensoren. Die Wahl des Materials für selbige dagegen war sekundär. In einer iterativen Vorgehensweise flossen die Erfahrungen des vorhergehenden Musters in die Folgentwicklung ein und ermöglichten die sukzessive Untersuchung verschiedener Elemente des jeweiligen Sensortyps:

- Äußere/ innere Elektrode/ Schirmung (kapazitiver Sensor)
- Dreilagiger/ einlagiger Aufbau (resistiver Sensor)

Begleitend zu den Musterentwicklungen erfolgten die in Kapitel 5 erläuterten Materialprüfungen, deren Ergebnisse im Entwicklungsprozess berücksichtigt wurden. Ferner konnten im Prozess neue Erkenntnisse zu den Materialeigenschaften gewonnen werden.

Es entstanden je Sensorart mehrere Muster, die die Entwicklungsetappen dieser Forschungsarbeit widerspiegeln und als Vorläufer der Prototypen fungieren.

6.1 Kapazitiver Sensor

Das folgende Kapitel stellt die Musterentwicklung des kapazitiven Sensors dar. Elektrode sowie Schirmung sollten textil gefertigt und erforderliche elektrische Leiterbahnen mit leitfähigen textilen Fäden realisiert werden. Die Wahl eines als Elektrode geeigneten Materials basiert auf den in Kapitel 5 dargestellten Prüfungen zur Ermittlung textiler und oberflächenleitfähiger Eigenschaften. Es wurden schrittweise oberflächenleitfähige Materialien gefunden. Da sich die anfänglich geprüften Materialien als ungeeignet herausstellten, entstand ein längerer Suchprozess, der auch dadurch bestimmt wurde, dass der Markt oberflächenleitfähiger textiler Flächen z.Z. nicht sehr ausgeprägt ist.

Für den kapazitiven Sensor wurden nacheinander fünf Muster mit verschiedenem Aufbau und Materialien entwickelt:

Muster 1: Äußere Elektrode und Schirmung = Material: Köper (offen)

Muster 2: Innere Elektrode (Fläche) = Material: Ripstop (Picasso)

Muster 3: Innere Elektrode (Streifen) = Material: Köper (2/1)

Muster 4: Verarbeitungsvarianten der Schirmung = Material: Köper (2/1)

Muster 5: Innere Elektrode, Guard und Schirmung = Material: Köper (2/1)

Diese Muster werden in den nachfolgenden Kapiteln im Einzelnen beschrieben:

6.1.1 Äußere Elektrode und Schirmung

Das erste Muster entstand als gesamte Rückenkissenhülle, bestehend aus der Schirmung sowie der äußeren Elektrode aus Köper (offen)¹. Die Fertigung der inneren Elektrode entfiel, da die generelle Funktion dieses Materials als Sensor und Schirmung geprüft werden sollte. Die Elektrode befindet sich auf der Kissenvorderseite und geht über die gesamte Kissenbreite und Höhe.



Abbildung 19: Vordere Elektrode und Schirmung

Sie ist mit einem 20 mm Abstand von der Schirmung getrennt und wurde auf einen nicht leitfähigen Futterstoff aufgesteppt. Die Maße des Sensor-Kissenbezugs wurden durch Ausmessen des Polsters ermittelt. Der Kissenbezug besaß eine gute Passform.

Es stellte sich heraus, dass das Gewebe als Sensor anwendbar ist. Dies ist durch die Eigenschaft bedingt, dass bei elektrischem Stromfluss jeder metallische Schussfaden ein kapazitives Feld aufbaut und Teil des Gesamtfeldes wird. Bei der Schirmung hingegen bleiben die parallel verlaufenden Fäden getrennt und der Strom fließt lediglich durch jene Metallfäden, welche direkten Kontakt mit der Anschlussstelle haben.

Zur Behebung dieses Effekts sollte ein leitfähiger Zwirn (hart gedreht), in Kettrichtung aufgesteppt, eine Verbindung der Schussfäden schaffen. Wie Tabelle 13 zeigt, wurden verschiedene Stichtypen mit einer Haushaltsnämaschine geprüft.

Tabelle 13: Stichtypen für die Applikation eines leitfähigen Zwierns

Muster	Stichtyp	applizierte Stichtypen		Unterfaden	Oberfaden	Ergebnis
		Stichbreite [mm]	Stiche pro cm			
1	Doppelsteppstich	-	4	Fasergarn	leitf. Zwirn	kein Kontakt
2	Doppelsteppstich	-	10	Fasergarn	leitf. Zwirn	kein Kontakt
3	Doppelsteppstich, Spirale, Muster-rapport 13 mm	-	4,5	Fasergarn	leitf. Zwirn	kein Kontakt
4	Dreifach-Zick-Zack-Stich, Stichbreite mm	5	-	Fasergarn	leitf. Zwirn	kein Kontakt
5	Wellenform Zick-Zack-Stich, Rap-portbreite 20 mm	2	-	Fasergarn	leitf. Zwirn	kein Kontakt
6	Doppelsteppstich	-	12	leitf. Zwirn	leitf. Zwirn	kein Kontakt

Durch den applizierten Faden konnte keine Verbindung zwischen den Schussfäden hergestellt werden. Auch bei einer größeren Kontaktfläche des Zwirns zu den Metallfäden durch einen Zick-Zack-Stich ließ sich kein Kontakt herstellen.



Durch die große Stichtlänge und das weiche Material zog sich bei Stichtyp 4 das Material zusammen und bei Zugausübung verzogen sich die

Abbildung 20: Muster verschiedener Stichtypen beim Körper (offen)

Kettfäden über die Schussfäden und es kam zur Lochbildung. Dieser Effekt trat ebenfalls bei den sehr eng ausgeführten Stichen von Stichtyp 5 auf. Bei dem Gebrauch des leitfähigen Zwirns im Unter- und Oberfaden ließ sich ebenfalls kein Oberflächenkontakt erzielen. Abbildung 20 zeigt das Muster mit den verschiedenen Stichtypen.

In einem weiteren Versuch erfolgte der Auftrag einer leitfähigen Farbe (Vgl. Kap. 4.2) auf die Warenoberseite. Auch dieser Versuch führte nicht zum gewünschten Ergebnis.

Kritische Betrachtung

Aus den Versuchen wird deutlich, dass das Material zwar als Sensor, nicht jedoch als Schirmung zu verarbeiten ist. Versuche, die leitfähigen Schussfasern zu verbinden, konnten weder mit einer Verbindungsnaht aus leitfähigem Zwirn noch mit einer leitfähigen Farbe erzielt werden. Auch die in Kapitel 5.1 und 5.2 beschriebenen textilen Prüfungen sprechen gegen eine weitere Verwendung.

6.1.2 Muster 2: Innere Elektrode (Fläche)

Der Entwicklung des zweiten Musters lag die Überlegung zu Grunde, die Rückenkissen mit vier Sensorflächen zu bestücken, wobei die beiden mittleren halb so groß wie die beiden äußeren Flächen sind und gekoppelt werden können. Die Kopplung sollte dann vorgenommen werden, wenn es sich um die Detektierung eines größeren Objektes handelt und dieser mit drei Flächen präzise ausgemacht werden kann. Kleinere Objekte können mit vier Flächen exakt erfasst werden. Die Elektroden mit einer Breite von 29 cm x 37 cm Höhe entstanden aus leitfähigem Ripstop Gewebe und wurden mit einem Abstand von 8 mm auf einen Futterstoff aufgesteppt. Der Futterstoff entsprach den Maßen der Rückwand des Rückenkissens und zu Versuchszwecken wurde lediglich eine Hälfte mit Elektroden bestückt.

Der Test nach Anschluss der Elektronik und Software, wie sie von Oliver Dreschke in der Masterarbeit 2011 entwickelt wurde, zeigte, dass die zwei applizierten Elektroden als ein Sensor agieren. Die Elektroden liegen zu dicht bei einander, sodass sich die elektrischen Felder der parallelen Elektroden überschneiden. Die in Abbildung 21

dargestellten Versuche eines Forscherteams der Universität Bonn mit Metallelektroden zeigen, dass zum Verhindern eines Überspringens des elektrischen Feldes bei neben einander angeordneten Elektroden ein Abstand von ca. der doppelten Elektrodenbreite bestehen sollte. Damit ließe sich ein sehr gutes Ergebnis erzielen. Sind im gewünschten Einsatzbereich Signalgenauigkeiten akzeptabel, so können die angegebenen Abstände unterschritten werden (Raphael Wimmer, 2007). Für die textilen Elektroden von 1073 cm^2 müsste ein Abstand von mehr als 40 cm eingehalten werden. Bei der Kissenbreite von 93 cm erlaubte dies die Unterbringung einer Elektrode. Die Verwendung zweier Elektroden von 9 cm Breite x 34 cm Höhe (306 cm^2) ließe sich beispielsweise mit einem Abstand von $< 30 \text{ cm}$ umsetzen.

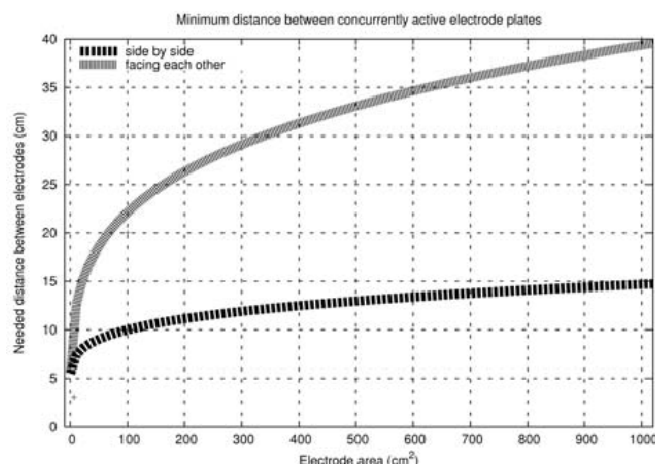


Abbildung 21: Minimaler Abstand zwischen zwei Elektroden (Raphael Wimmer, 2007)

Das Ripstop Gewebe ist als Sensor und Schirmung sehr gut geeignet, zeigt aber beim Bügelprozess sowie der Scheuer- und Zugprüfung (Kap 5.1 und 5.2) im Vergleich zum Körper (2/1) schlechtere Ergebnisse. Aus diesem Grund wird das Material nicht weiter verarbeitet.

6.1.3 Muster 3: Innere Elektrode (Streifen)

Der weitere Arbeitsprozess sah vor, anstelle großflächiger Elektroden die Sensorfläche streifenförmig zu gestalten. Um trotzdem Objektannäherungen/-änderungen präzise erfassen zu können, sollten sie kreuzweise verlaufen. Zur Bestückung der Rückenfläche dienten vier je 50 mm breite Streifen, die auf ein Hilfsmaterial (Futterstoff) aufgesteppt wurden.

Die Streifen bestehen aus leitfähigem Körper (2/1) (Vgl. Kap. 4.2), wobei zwei Diagonalen einen Schnittpunkt mittig der Fläche bilden und von zwei senkrecht aufgesteppten Elektroden gekreuzt werden. Diese dritteln die Gesamtfläche. Durch diesen Aufbau werden mittels der Schnittpunkte von

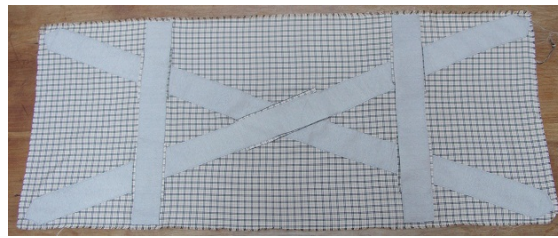


Abbildung 22: Innere Elektrode (Streifen)

vier Elektroden fünf Sensorpunkte gebildet und eine Elektrode wird damit eingespart. An den Kreuzungspunkten verhindert eine Isolierschicht, welche beidseitig der jeweils unteren Elektrode aufgesteppt ist und größer ist als die obere Elektrode, einen direkten Kontakt. Abbildung 22 zeigt den konstruktiven Aufbau der Sensorstruktur.

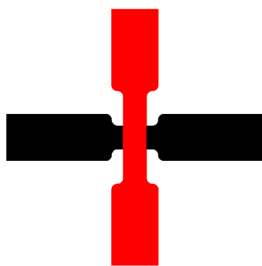


Abbildung 23: Kreuzung von zwei länglichen Elektroden

Nach Anschluss der Elektroden an die CapSense Sensoren ließ sich feststellen, dass bei einer Annäherung an den rechten Rand der Sensorfläche derselbe Sensorwert detektiert wird wie bei einer Annäherung am linken, oberen oder unterem Rand der Fläche. Die Software stellte bezüglich jeder Elektrode eine gleich starke elektrische Feldänderung in Form eines Ausschlags der Messkurve dar. Daraus lässt sich schließen, dass eine isolierende Stoffschicht nicht zur Verhinderung der elektrischen Feldausbreitung im Bereich des Kreuzungspunktes ausreicht.

Zur Behebung dieses Effekts entstand eine Elektrodenstruktur, die im Bereich des Schnittpunktes eine starke Verjüngung der Elektroden wie in Abbildung 23 dargestellt, aufweist. Am Kreuzungspunkt unterband eine Trennschicht den direkten Elektrodenkontakt. Es zeigte sich, dass sich auch bei dieser Elektrodenanordnung die elektrischen Felder überlagerten.

Eine weitere Reduktion der Kontaktfläche im Kreuzungsbereich ließ sich durch die Anbindung eines elektrisch leitfähigen Zwirns zwischen zwei Elektrodenabschnitte erzielen. Der Zwirn wurde an beiden Enden auf je eine Elektrode appliziert, sodass eine leitende Verbindung geschaffen wurde. Im Bereich des Schnittpunktes der Sensorfäden wurde ein nicht leitfähiges Material zur Isolierung zwischen gelegt.

Mit diesem Aufbau lies sich eine Matrix mit einem sehr dichten Sensornetz erstellen.

Je nach gewünschter Feinheit der Matrix können die Sensorpunkte in länglicher oder quadratischer Form gefertigt werden. Durch das Streifenprinzip lassen sich zusätzliche Anschlussstellen vermeiden und mit bspw. acht Sensorstreifen sind sechzehn Sensorpunkte umsetzbar.

Kritische Betrachtung

Aus den Versuchen wird deutlich, dass bei der Fertigung einer Sensorstreifenmatrix das Wirkungsfeld der Elektrodenkapazitäten für die Bestimmung der Abstände ausschlaggebend ist. Diese ist vom Material sowie der angelegten Struktur abhängig, und muss durch empirische Untersuchungen ermittelt werden.

Es ist anzumerken, dass die vier Streifen fünf Punkt Sensorform nicht in jeder Anwendung erforderlich ist. Im Rückenkissen ist mit fünf Sensorpunkten anstelle von zwei Sensorpunkten keine zusätzliche Information ermittelbar. Das Rückenkissen bedeckt mit 40 cm Höhe die Hälfte eines menschlichen Rückens bzw. den gesamten Rücken eines Kindes. Wird eine schräge Position eingenommen und sowohl eine untere sowie die schräg gegenüber liegende obere Ecke angesprochen, so ist diese Position auch mit zwei Sensorflächen detektierbar. In einer Sitzfläche dagegen ist es nützlich, anstelle von zwei Sensorflächen eine feinere Unterteilung zu wählen, um exakter eine Sitzposition zu bestimmen. Die Maße eines Sitzkissens betragen 94 cm Breite x 65 cm Tiefe. Wird bspw. eine Position eingenommen, bei der die Person sehr weit hinten auf dem Kissen mit aufgestützten angewinkelten Beinen sitzt, so ließe sich sowohl der Kontakt der Füße als auch des Rumpfes ermitteln. Da ein Rückenkissen als kapazitiver Sensor ausgerüstet werden soll, wird im weiteren Vorgehen die Form zweier senkrecht verlaufenden Elektroden untersucht.

6.1.4 Muster 4: Verarbeitungsvarianten der Schirmung

Ein weiterer Aspekt des kapazitiven Sensors ist die Schirmung. Wie in Kapitel 4.3 erläutert, erzeugt die Kapazität Wechselfelder, die bei starker Ausprägung die menschliche Gesundheit negativ beeinflussen. Aus diesem Grund entstand ein Aufbau, bei welchem die Kissenhülle optional komplett geschirmt und eine Veränderung der Sitzsituation über einen zusätzlichen im Kissen platzierten Sensor (innere Elektrode) erfasst werden kann. Eine Annäherung an das Kissen ist im Falle der Gesamtschirmung nicht mehr detektierbar, aber über den Sensor im Kissen lässt sich eine Situationsänderung erfassen.

Die Kissenvorderseite ist aus dem Köper (2/1) (siehe Kap 4.2) gefertigt und fungiert als Elektrode. Boden, Seiten, Rücken und Oberseite bestehen ebenfalls aus diesem Material und überlappen die Elektrode auf der Innenseite um 15 mm. Die Überlappung bewirkt eine lückenlose Schirmung im Fall der Gesamtschirmung des Kissens.



Abbildung 24: Miniatur-Kissenprototyp

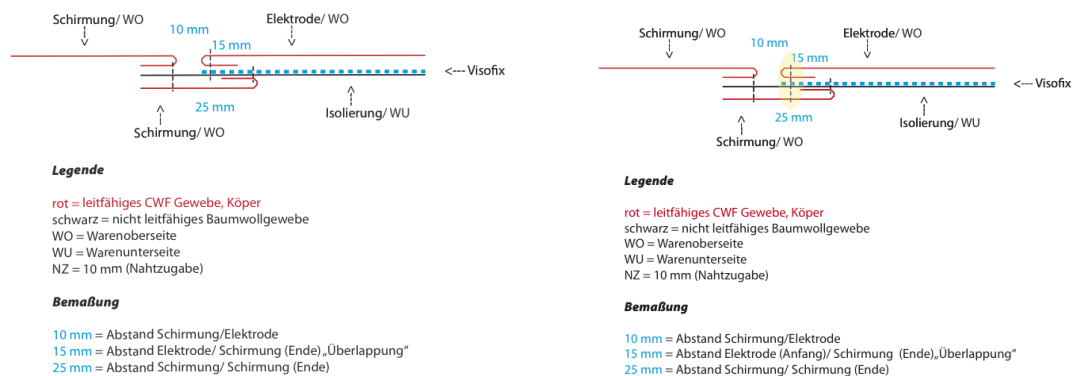
Sie wird durch eine Isolationslage von der Elektrode getrennt. Die hinteren Sensoren befinden sich auf der rückwärtigen Kisseninnenseite. Für die Untersuchung dieser Sensorkonstruktion erfolgte die Fertigung eines Musterkissens mit den Maßen von 120 mm Höhe x 240 mm Länge x 40 mm Tiefe¹⁶. Auf Grund der Miniaturisation des Sensorkissens erfolgte die Umsetzung des inneren Sensors statt mit zwei Elektroden mit einer.

Für die Überlappung von vorderer Elektrode und Schirmung wurde je ein Rechteck mit den Maßen der Kissenvorderseite aus dem leitfähigem Köper (2/1) sowie dem Dobby 4.2 zugeschnitten. Die Rechteckfläche des Köpers (2/1) wurde durch den Ausschnitt eines kleineren Rechtecks ergänzt, sodass ein 40 mm breiter „Rahmen“ entstand. Dieser wurde auf die Warenoberseite (WO) der Isolationsschicht mit einem Nahtzugabeneinschlag von 10 mm nach dem Einschnitt der Innenecken von 10 mm aufgesteppt. Das Elektrodenrechteck aus dem Köper mit den Maßen von 220 mm Breite x 100 mm Höhe wurde mit einem Nahtzugabeneinschlag von 10 mm auf die WO der Isolationsschicht aufgeklebt und durch alle Lagen aufgesteppt. Die Verklebung der Isolationsschicht wurde vorgenommen, um unerwünschten Kapazitätsänderungen durch Materialbewegungen von Elektrode und Isolation vorzubeugen. Die Elektrode überlappt den Rahmen aus Köper (2/1) seitlich um 25 mm, ober und unten um 23 mm. Die nun aus dem Schirmungsrahmen sowie der Elektrode bestehende Vorderseite wird, wie in Abbildung 25.2 gezeigt, rechts auf rechts in das Kissen eingestürzt.

Beim Testen dieser Verarbeitung zeigte sich, dass die Elektrode trotz Isolierschicht mit der Schirmung verbunden war. Dies rührt daher, dass die Nadeleinstiche Löcher in der Verbindungsnaht von Schirmung, Isolierung und Elektrode erzeugen. Durch diese Löcher wird ein elektrischer Kontakt von Einzelfilamenten der leitfähigen Gewebe durch die Isolationsschicht hindurch ermöglicht. Der hier störende Effekt ließ sich für die Verbindung von Schirmungsrahmen und Schirmung positiv nutzen. Es entstand wie gewünscht eine Gesamtschirmung.

Um der Verbindung von Schirmung und Elektrode entgegen zu wirken war es notwendig, zuerst die Isolierung mit dem Schirmungsrahmen zu verstürzen und die Isolierung

¹⁶Vgl. Mappenanlage



25.1: Mit kurzer Naht

25.2: Mit durchgehender Naht

Abbildung 25: Nahtschaubilder der Verarbeitung von Schirmung & Elektrode

auf Paspel zu bügeln. Anschließend erfolgten das Auseinanderfalten der verbundenen Lagen und das Aufsteppen der Elektrode auf die Isolierung (siehe Abbildung 25.1). Es konnte erfolgreich eine Verarbeitungstechnik von Schirmung und vorderer Elektrode gefunden werden. Durch die Überlappung von Schirmung und Elektrode ist eine lückenlose Schirmung gewährleistet. Ist die vordere Elektrode auf Schirmung geschaltet und die inneren Elektroden aktiviert, so ist das kapazitive Feld auf das Kissen begrenzt.

Kritische Betrachtung

Die Verarbeitung der Überlappung, zugeschnitten aus einem Rechteck, erfordert keine Eckenverarbeitung und verkürzt somit den Fertigungsprozess und anfallende Lohnkosten. Nachteilig hierbei ist der vorgenommene Rechteckausschnitt der überlappenden Schirmung aus Körper (2/1). Sollte für diesen keine anderweitige Verwendung im Zuschnitt gefunden werden, besteht ein höherer Materialverbrauch, der vor allem wegen des hohen Materialpreises des Körpers vermieden werden sollte. Auch die Verwendung des Visofix stellt zusätzliche Kosten dar.

Die alternative Verarbeitung bestand in der Fertigung der Schirmungsüberlappung (Körper (2/1) und Dobby) aus einzelnen Streifen, die an den Ecken mit diagonalen Nähten zu einem Rechteck zusammengesetzt werden. Damit entfällt die durchgängige Isoalationslage und stattdessen wird sie mit dem Schirmungsrechteck aus Körper rechts auf rechts verstürzt. Die folgende Abbildung 26.1 zeigt das Nahtschaubild dieser Verarbeitungsvariante.

Im Falle eines sehr flauschigen Gewebes mit einer offenen Oberfläche wie gerauhter Ware oder Wollstoffen, ist es sinnvoll, die Isolierung zuerst rechts auf links mit der Schirmungsüberlappung zu verstürzen, dann die Elektrode rechts auf rechts auf die Isolierung

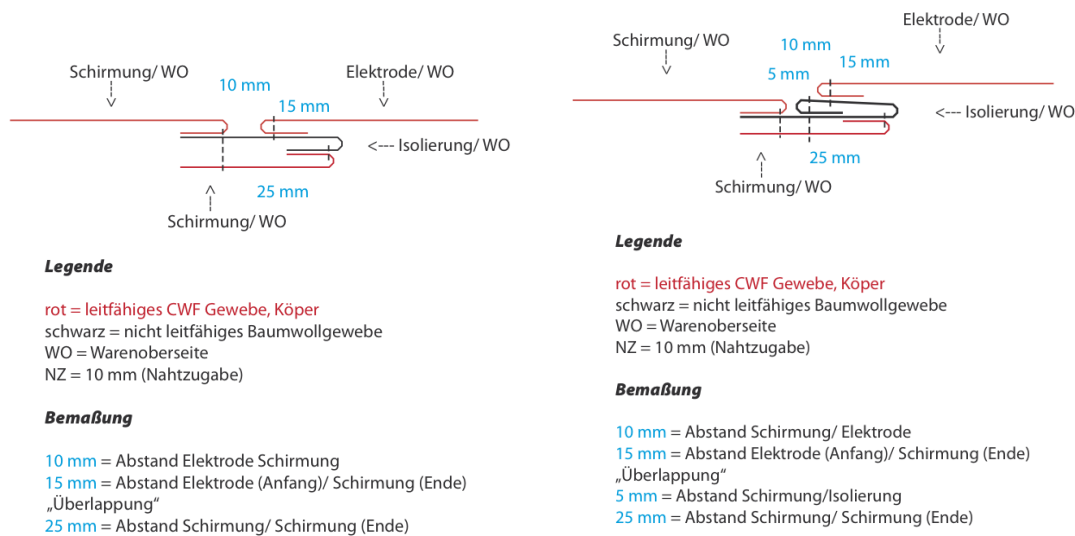


Abbildung 26: Nahtschaubilder der Verarbeitung von Schirmung & Elektrode 2

zu steppen und abschließend die Isolierung mit der Schirmungsüberlappung durch eine Steppnaht zu verbinden. Hierbei lässt sich ein elektrischer Kontakt von Schirmung und Elektrode definitiv ausschließen.

6.1.5 Muster 5: Innere Elektrode, Guard und Schirmung

Eine weitere Musterentwicklung sah die Einbindung des inneren Sensors in die Musterkissenhülle vor. Es sollte ermittelt werden, wie sich Sensor und hintere Schirmung verhalten und ob im Zustand einer Gesamtschirmung eine Veränderung am Kissen erfolgreich detektierbar ist. Die Erwartung war, dass durch die geringe Distanz von innerem Sensor und Schirmung Störeffekte auftreten können.

Für den Test wurde eine Elektrode aus Köper (2/1) mit den Maßen von 90 mm Breite und 100 mm Länge, versäubert mit einer Überwendlichnaht, auf eine Isolationschicht (Dobby) aufgenäht. Es folgte das Aufsteppen der Isolierung auf die Innenseite der rückwärtigen Schirmung des Kissenmusters. Nach Erdung der Schirmung sowie Anschluss der inneren Elektroden an das CapSense-Toolkit (Vgl. Kap 4.3) zeigte sich, dass nicht nur die erforderliche Abstandsänderung der vorderen Schirmung zum inneren Sensor erfasst wird, sondern zudem Kapazitätsänderungen, die durch Materialbewegungen des Sensors und der hinterer Schirmung ausgelöst werden. Da es sich bei textilen Flächen um biegeschlaffes Material handelt, ist dieser Effekt immer gegeben und kleinste Erschütterungen in der Umgebung genügen zur Auslösung. Um dem entgegen zu

wirken wurden die Elektroden zusätzlich mit Visofix auf das Dobby aufgeklebt, auf eine Versäuberung der Schnittkanten wurde wegen der Verklebung verzichtet.

Tests ergaben, dass trotz der festen vollflächigen Verbindung von Sensor und Schirmung weiterhin Störungen wahrgenommen wurden. Diese Verzerrungen des elektrischen Feldes treten umso stärker auf, je näher sich die Elektrode an der Schirmung befindet. Die Sensitivität der Elektrode ist dann besonders groß, da sich das elektrische Feld nicht ausdehnen kann. Des Weiteren war das Eindringen des Kissens an der Vorderseite sensorisch nicht erfassbar. Dies beruht auf dem in Abbildung 27 (links) dargestellten Effekt, dass sich die hintere Schirmung/ Masse (robot) näher am Sensor (electrode) befindet, und die Elektrode statt auf den vorderen Bereich der Schirmung (object) auf den hinteren Bereich reagiert.

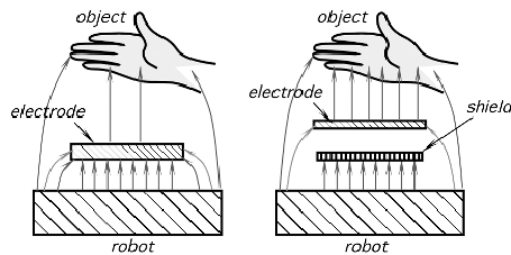


Abbildung 27: Ausbreitung des elektrischen Feldes zwischen Elektrode und hinterer Schirmung (Fraden, 2004)

Hier kommt der Guard zum Einsatz. Als zusätzliche Elektrode wirkt er wie eine Schutzwand zwischen Sensor und Schirmung. Mit Hilfe eines Verstärkers wird er auf das gleiche Potential wie die Elektrode getrieben und unterdrückt damit wirksam einen Feldaufbau zwischen Elektrode und Schirmung (Bluth, 2007). Haben die Elektrode und der Guard das gleiche Potenzial, wird das elektrische Feld wie in Abbildung 27 (rechts) gezeigt auf die vordere Schirmung/ Masse (object) geleitet. Die verwendeten CapSense Sensorchips (Vgl. Kap. 4.3) verfügen über eine Anschlussstelle für die Elektrode und den Guard, über welche die leitfähige Fläche aus Köper (2/1) mit dem Guard verbunden werden kann.

Die Einbindung des Guards erfolgt nach dem im ersten Absatz dieses Kapitels erläuterten Arbeitsablauf durch eine weitere Lage aus Köper (2/1). Wie auch die Elektrode, wird der Guard mit Visofix auf die Warenunterseite (WU) des Dobbys aufgeklebt. Er hat die Maße von 100 mm Breite x 110 mm Länge, sodass er die Elektrode allseitig um 5 mm überlappt und ein Schutzring entsteht. Der nächste Arbeitsschritt beinhaltet das Aufkleben des Sensorarrays auf die Innenseite des Kissenrückens aus Dobby, die

wiederum der Isolation von Sensorarray und Schirmung dient. Abschließend wurde der Dobby mit der rückwärtigen Schirmung verklebt und die gesamte Rückwand in die Kissenhülle eingenäht. Als Verschluss diente ein 25 mm breiter Spiralreißverschluss aus Kunststoff. Mit diesem Versuchsaufbau ließ sich eine Annäherung an das Kissen sowie nach Berührung die Detektierung einer Veränderung im Kissen erfolgreich nachweisen.

Kritische Betrachtung

Nach wiederholtem Handhaben des Kissenmusters lösten sich Schuss- und Kettfäden aus innerer Elektrode und Guard und erzeugten elektrische Störkontakte. Des Weiteren lösten sich partiell die Klebeverbindungen. Zur Vermeidung dieses Effekts ist es sinnvoll, die Schnittkanten mit einer Überwendlichnaht zu umstechen sowie durch eine zusätzliche Steppnaht eine dauerhaftere Verbindung der zu fügenden Lagen zu schaffen. Wichtig ist, dass das Aufsticken der Anschlussstellen vor dem Klebprozess von Elektrode und Guard durchgeführt werden muss. Im Kapitel 6.4.3 wird auf diesen Arbeitsschritt näher eingegangen.

6.2 Resistiver Sensor 1: Dreilagenaufbau

In diesem Kapitel werden die Entwicklungsphasen eines resistiv wirkenden textilen Kraftsensors, seine Funktionsweise sowie die Herangehensweise beim Testen und Fertigen der Musterfragmente erläutert. Die Entwicklung folgt dem Ziel, einen funktionierenden Sensor für die Erfassung variierender Belastungen auf großen Flächen zu konzipieren. Auf Grund einer Veröffentlichung einer englischen Designerin mit dem Künstlernamen *Plusea*¹⁷ 2008 war eine Möglichkeit gefunden, ein bereits getestetes Modell nach definierten Anforderungen als Sensorkissenbezug zu fertigen. Es handelt sich um ein einfaches Wirkungsprinzip, welches für große textile Flächen kostengünstig zu fertigen ist. *Plusea* entwickelte eine mit 5 Volt betriebene vier Punkt *Pressure-Sensor-Matrix*, durch welche sich der Krafteinwirkungspunkt sowie die einwirkende Kraft selbst ermitteln lassen. Der Sensor besteht aus zwei isolierenden 5 mm dicken Neoprenschnichten und einer dazwischen angeordneten hochomigen Verbindungslage. Es handelt sich dabei um eine Folie, die im Handel u.A. als Velostat veräußert wird und als Verpackung empfindlicher elektronischer Bauteile zum Schutz gegen Beschädigung durch elektrostatische Entladung dient. Durch Krafteinwirkung verringert sich der elektrische Widerstand der Folie und ermöglicht einen verstärkten Stromfluss zwischen den leitfähigen Garnen. In das Neopren sind, einem Muster folgend, partiell an der Oberfläche

¹⁷Hannah Perner-Wilson, mit einem Bachelor Abschluss in Industrial Design der Art University of Linz, Österreich, schafft überraschende Objekte und Installationen durch die Anwendung von electronic textiles und Sensoren.

liegende Stiche aus leitfähigem Garn als Sensorpunkte eingestickt. Sie liegen auf den Innenseiten und stellen bei Krafteinwirkung ein leitfähiges Sensorkreuz dar. Zur besseren Kontaktierung wurde das leitfähige Garn an den Sensoranschlüssen mit leitfähigem Textil verbunden. Der Sensordaten werden durch analoge Eingänge auf Seite B von einem *Arduino Microcontroller* ausgelesen. Seite A wird über den Microcontroller geerdet.

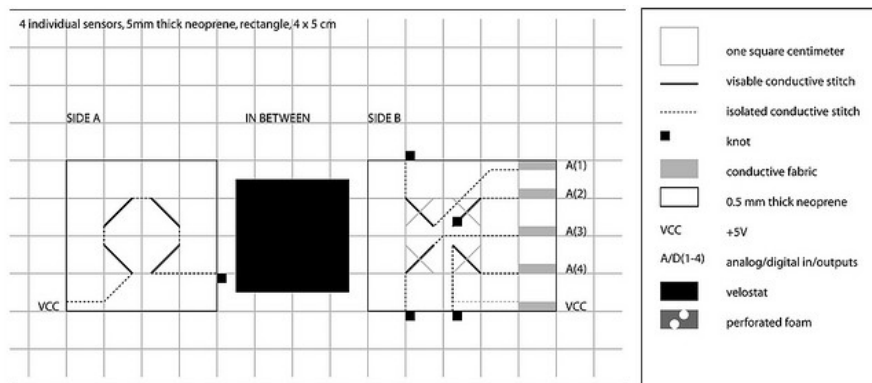
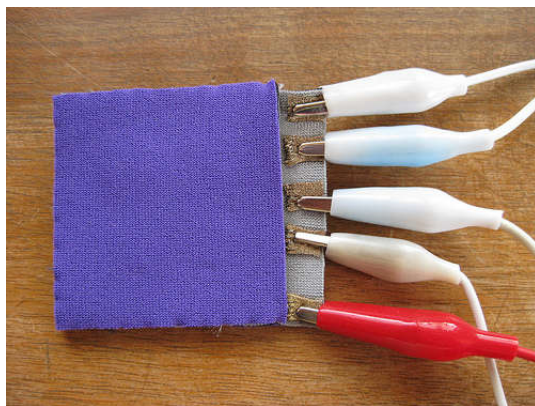
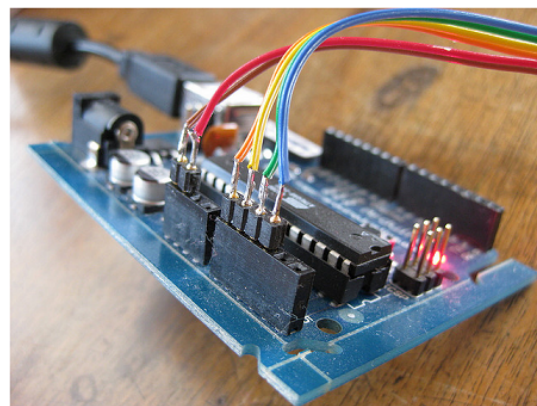


Abbildung 28: Aufbau der Plusea Matrix (Quelle: <http://www.flickr.com>)



29.1: Plusea Prototyp



29.2: Anschluss an den Arduino

Abbildung 29: Kraftsensor mit Kontaktierung und Steuerung, Quelle: Instructables, Pressure-Sensor-Matrix by Plusea, <http://www.instructables.com/id/Pressure-Sensor-Matrix/step6/Pull-up-resistors>

6.2.1 Muster 1: Sensor-Matrix nach Plusea

Das erste Muster einer Vier-Punkt-Matrix entstand nach vorausgehend beschriebenem Aufbau und wurde aus einem 1,5 mm starkem Schurwoll-Loden gefertigt. Die Schurwoll-Sensor-Matrix besitzt die Maße 120 mm x

100 mm (Breite x Länge). Es wurde ein größeres Maß gewählt als das von Plusea genutzte, da so der Fertigungsprozess vereinfacht werden konnte. Als Sensorfaden konnten sowohl Matrix in einem Nm 42,6/ 4 weich gedrehtem Zwirn (Multifilamentgarne) sowie einem Nm 20/ 2 hart gedrehtem Zweifachzwirn (einstufig) gute Ergebnisse erzielt werden (Siehe Anhang A.4). Die elektrische Oberflächenleitfähigkeit ist in beiden Fällen annähernd gleich (Vgl. Kap. 5.3), durch die harte Verdrehung der Garne besitzt der Zweifachzwirn jedoch eine größere Robustheit und eine geringere Affinität zum Spleißen der Filamente. Dadurch können beim Übersteppen mit einem im Zick-Zack verlaufenden Sicherungsfaden die Multifilamentbündel sicherer umschlossen werden und ein enges nebeneinander Liegen von parallelen Leitungen wird möglich. Die Verarbeitung des Zirns (hart gedreht) ist somit einfacher und führt zu einem langlebigeren Ergebnis. Aus diesem Grund wurde selbiger als Sensorfaden gewählt.

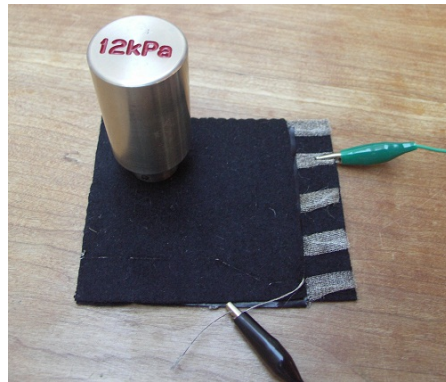


Abbildung 30: Sensor-Matrix nach Plusea

Die Suche nach einem geeigneten hochohmigen Zwischenlagenmaterial gestaltete sich schwierig, wurde aber durch den Fund und Gebrauch einer anti-static Velostat® Schutzverpackung für elektronische Bauteile von Erfolg gekrönt. Es handelt sich um eine schwarze, blickdichte, Karbon imprägnierte Polyofin Folie mit einem elektrischen Oberflächenwiderstand von $3^6 \Omega$ gemessen bei 20°C und 37% rel. Luftfeuchte. Anders als die Angaben des Herstellers reagierte die Folie auf Feuchte- und Hitzeeinwirkung mit dem Verlust ihrer Leitfähigkeit (siehe Kap. 5.3).

Mit dem Velostat als Zwischenlage des Schurwollknoten-Musters ließen sich stärkere und geringere Belastung sensorisch detektieren. Bei den ermittelten Werten handelt es sich um einheitslose Messwerte, die die gemessene Widerstandsänderung durch Belastung aufzeigen. Die folgende Tabelle 14 zeigt zusammengefasst die Reaktion des Sensors bei Belastung durch 12 kPa, 24 kPa und 36 kPa. Der Belastungszeitraum betrug jeweils 2 min. Nach Ablauf dieses Zeitraums pendelt der Wert um ± 2 . Die detaillierten Messwerte sind dem Anhang A.7, Tabelle 29.

Bewertung:

- Es können unterschiedliche Belastungen identifiziert werden
- Je stärker die Belastung, desto geringer sind die Messwerte
- Die Messwerte streuen sehr stark

Tabelle 14: Belastungsstufen eines resistiven Kraftsensorkraftpunktes

Belastungsstufen eines Kraftsensorkraftpunktes mit am Kreuzungspunkt lose übereinander liegenden Sensorfäden			
Belastung [kPa]	Belasten*	1 min	2 min
12 kPa Mittelwert relative Standard - abweichung in %	149	126	122
	23	19	20
24 kPa Mittelwert relative Standard - abweichung in %	109	93	91
	25	21	20
36 kPa Mittelwert relative Standard - abweichung in %	84	75	73
	16	13	13

- Je länger die Messzeit, desto geringer ist die Streuung
- Aufgrund der großen Streuung, lassen sich nur größere Gewichtsunterschiede (12 und 36 kPa) eindeutig unterscheiden. Die Mittlere Belastungsstufe (24 kPa) fällt z.B. sowohl in den Bereich von 12 kPa als auch in den von 36 kPa

Auch mit einem Sensor-Muster aus 4 mm dickem Neoprenstoff konnten verschiedene Belastungen detektiert werden.

Kritische Betrachtung

Es handelt sich bei der *Pressure-Sensor-Matrix* um einen konstruktionell einfachen Aufbau, der sich jedoch industriell nicht fertigen lässt, da die Sensorkraftpunkte von Hand gestickt sind und die Stiche im isolierten Bereich innerhalb der Lage ausgeführt werden müssen. Dies stellte vor allem bei der geringen Materialdicke des Schurwoll-Loden-Musters eine Herausforderung dar, denn ein Durchstechen auf der Innenseite erzeugt eine weitere Kontaktstelle und ein Durchstechen auf der Außenseite eine unsaubere Optik.

Darüber hinaus ist die Verarbeitung der nicht textilen Folie mit verschiedenen Nachteilen verbunden:

- Folie ist empfindlich gegenüber Feuchte und Hitze, sodass kein Bügelprozess möglich ist
- Sensorkissen ist nicht waschbar

- Bei Feuchte- oder Hitzeeinwirkung Verlust der elektrischen Oberflächenleitfähigkeit und Funktion als Sensor
- Verminderung der Wasserdampfdurchlässigkeit (Atmungsaktivität) und dadurch Einschränkung des Sitzkomforts
- Empfindlich gegenüber Zugkräften als textile Flächengebilde, daher geringere Robustheit
- Empfindlich gegenüber Druckkräften und Gefahr des Durchscheuerns

Zur Verbesserung der aufgetretenen kritischen Eigenschaften erfolgte die Anfertigung eines weiteren Musters.

6.2.2 Muster 2: Verarbeitungsvarianten der Sensorfäden

Der Entwicklung eines zweiten Musters lag die Überlegung zu Grunde, die Sensorfäden auf das Trägermaterial zu applizieren, um so eine industrielle Fertigung zu ermöglichen. Des Weiteren sollte anstelle der Folie ein textiles Material mit gleicher elektrischer Oberflächenleitfähigkeit als Zwischenlage verwendet werden. Es folgte die Prüfung nachfolgender Materialien, die jedoch entweder einen zu geringen elektrischen Oberflächenwiderstands aufwiesen oder über die Oberfläche nicht kontaktierbar waren. Im erstgenannten Fall fließt bei Krafteinwirkung sofort Strom zwischen den leitfähigen Sensorgarnen und den Außenschichten. Das Resultat ist ein „An-Aus-Schalter“ dar, kein Kraftsensor. Ein Vliesstoff (Vgl. Kap. 4.2) mit einem elektrischen Oberflächenwiderstand von $1,3 \frac{k\Omega}{25cm^2}$ fiel in diese Kategorie. Der Test mit leitfähiger Halbzwirnware (Vgl. Kap. 4.2) (ESD-Material) führte nicht zum gewünschten Ergebnis, da das Material über die Oberfläche nicht kontaktierbar war. Selbiges wurde in Anlehnung an den in Kapitel 3.2.5 beschriebene textile Sensoranzug ausgewählt, da hier mit einem ähnlichen ESD-Material ein positives Ergebnis erreicht wurde.

Weitere Entwicklungen sollten daher die Anwendung der Folie verbessern. Um die Sensorschwachstelle, die durch den Gebrauch der Folie entsteht, so klein wie möglich zu gestalten, wurde diese anstelle einer kompletten Lage nur im Bereich des Sensorpunktes in ein anderes Material eingearbeitet. Durch den partiellen Einsatz entfiel die Notwendigkeit, den Sensorfaden händisch von einem zum nächsten Sensorpunkt innerhalb der Lage zu führen, da nur am konkreten Sensorpunkt ein Kontakt entstehen konnte. Der Verzicht dieses manuellen Arbeitsschrittes ermöglicht eine industrielle Fertigung. Es entstand ein aus Schurwollloden gefertigtes Musterfragment, welches 10 mm x 10 mm sowie 20 mm x 20 mm große Ausschnitte enthält. Hinter diese Ausschnitte wurde

mit einem Doppelsteppstich mit 4 Stichen pro Zentimeter Folie aufgesteppt. Durch die Veredlung der Schurwolle (Filzen und Rauhen) wird ein Herauslösen von Schuss- oder Kettfäden aus dem Gewebe verhindert und eine offenkantige Verarbeitung im Bereich der Aussparungen war möglich.

Es wurde ebenfalls geprüft, wie sich die Folie beim Aufsticken mit einem Zick-Zack-Stich verhält. Hierbei wurde deutlich, dass keine stabilere Verbindung zwischen Oberstoff und Folie erzielt werden konnte. Stattdessen setzte ein Nahtreißen der Folie bei geringerer Kraftausübung ein.

Für die Applikation des Sensorfadens auf den Außenlagen erwies sich die Methode des Übersteppens mit einem Zick-Zack-Stich ausgeführt auf einer Dürkopp Adler Zick-Zack-Maschine als adäquat.



Abbildung 31: Gestickte Sensorfäden mit Velostat-Zwischenlage

Das beste Ergebnis ließ sich mit den Einstellungen 3 (Stichbreite) sowie 1,5 (Stichabstand) erzielen, hierbei sind sowohl der Sensorkontakt als auch der Schutz des leitfähigen Fadens optimal. Der Zwirn wird in einer Zuführeinrichtung des Stoffdrückerfußes gehalten. Um zu testen, in welcher Form der Sensorfaden für einen optimalen Kontakt am Sensorpunkt appliziert werden muss, wurden drei verschiedene Ausführungen gefertigt, wobei Ausführung 1 die geringste, Ausführung 3 die größte Kontaktfläche herstellt:

1. Einfacher Faden durchgängig aufgesteppt
2. Einfacher Faden mit Aussparung der Steppnaht am Sensorpunkt
3. Faden als Kreuz gelegt und außerhalb des Sensorpunktes aufgesteppt

Die Komplexität der Fertigung von Ausführung 1 bis Ausführung 3 nimmt zu. Bei Ausführung 2 und 3 sind innerhalb des Musters Anfangs- und Endverriegelung sowie erneutes exaktes Platzieren der Nadel erforderlich, was den Fertigungsablauf schwieriger gestaltet. Bei Ausführung 1 ist eine durchgängige Applikation des Sensorfadens möglich. Mit allen Ausführungen ließ sich ein guter Kontakt herstellen, bei Ausführung 1 tritt dieser jedoch progressiver ein und führt zum besten sensorischen Ergebnis, wie die Tests zeigten. Zudem ist diese Verarbeitungsart am einfachsten zu fertigen. Die zusammengefassten Ergebnisse der Messreihe mit dem beschriebenen Aufbau zeigt

die folgende Tabelle 15, die einzelnen Messwerte sind dem Anhang A.7 zu entnehmen. Der Belastungszeitraum betrug jeweils 2 min. Nach Ablauf dieses Zeitraums pendelt der Wert um ± 2 .

Tabelle 15: Ergebnisse bei unterschiedlichen Belastungsstufen

Belastungsstufen eines Kraftsensorpunktes bei Zick-Zack Musterstickerei durchgängig übergesteppt (kurzer Sensorfaden)			
Belastung [kPa]	Belasten*	1 min	2 min
12 kPa Mittelwert	801	779	781
relative Standard - abweichung in %	7	9	9
24 kPa Mittelwert	591	543	533
relative Standard - abweichung in %	6	6	6
36 kPa Mittelwert	450	412	405
relative Standard - abweichung in %	10	10	10

Bewertung:

- Es können unterschiedliche Belastungen identifiziert werden
- Je stärker die Belastung, desto geringer sind die Messwerte
- Die Messwerte streuen mit 7-10 % deutlich geringer als beim vorhergehenden Muster mit einer relativen Standardabweichung von 13-25 % (siehe Kapitel 6.2.1)
- Da sich die einzelnen Messbereiche nicht überschneiden, lassen sich die Belastungsstufen (12 kPa, 24 kPa, 36 kPa) eindeutig identifizieren

Kritische Betrachtung

Eine Schwachstelle ergab sich aus der quadratischen Form der Folie in der Zwischenlage. Die Ecken sind verstärkt Zugkräften ausgesetzt und damit besonders reißanfällig. Es ist empfehlenswert, mit einer Stanze kreisförmige Ausschnitte in der Zwischenlage zu erzeugen. Zudem besitzt der als Zwischenlage verwendete Wollstoff einen hohen Materialpreis und eine größere Materialdicke und sollte durch ein Material, bei dem eine offenkantige Verarbeitung möglich ist, ersetzt werden. Des Weiteren kann auf eine durchgehende Zwischenlage verzichtet werden. Stattdessen bietet sich eine partielle Ausführung im Bereich der Sensorpunkte und die Verbindung mit einer der äußeren

Lagen durch Steppnähte an.

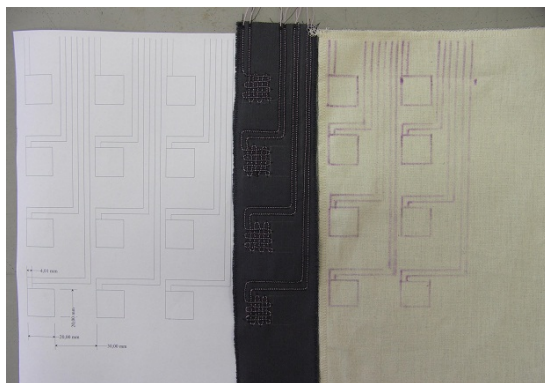
An der Verarbeitungsvariante der aufgestickten Folie mit Zick-Zack-Stich zeigt sich, dass, je mehr Einstichlöcher entstehen, die Stabilität der Fläche abnimmt und der Ausreißprozess an der Naht beschleunigt wird. Wird die Naht mit einfachem Doppelstepstich ausgeführt, ist es zweckmäßig, auf den Anfangsriegel zu verzichten und die Naht mit einer Verriegelung zu beenden. Der Nahtanfang wird dabei durch eine Überschneidung von 2 Stichen durch das Ende der Naht gesichert.

6.3 Resistiver Sensor 2

Als Entwicklungsbasis der Sensorkonstruktion diente das unter dem Projektnamen Seat-Sen im Oktober 2007 gestartete Forschungsvorhaben 16SV3457 (VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, 2009a). Hierbei wurde eine resistiv wirkende Sensormatte aus leitfähigen Fäden, in einer mäanderförmigen Struktur aufgestickt, entwickelt. Bei eintretender Belastung erfolgt die sensorische Auswertung einer elektrischen Widerstandsänderung, hervorgerufen durch die Längenänderung des elektrisch leitfähigen Fadens (Vgl. Kap. 4.2).

6.3.1 Muster 1: Applizierte Mäanderform mit Zwischenlage

Als ein erstes Muster entstand eine mäanderförmige Sensorfadenstickerei, die in Abbildung 32.1 dargestellt wird. Diese sieht vor, auf kleinstem Platz eine ausreichend große Fadenmenge zu verarbeiten, sodass ein gutes sensorisches Ergebnis erzielt wird. Hierbei zeigt sich als begrenzender Faktor der erforderliche Abstand zwischen den Fäden zur Vermeidung von Kurzschlüssen.



32.1: Stickvorlage und fertige Stickerei



32.2: Mäanderförmige Stickerei mit Zwischenlage

Abbildung 32: Mäanderförmige Stickerei

Für das Muster wurde der leitfähige Zwirn¹⁸, mit einem Zick-Zack-Stich aufgestickt, verwendet. Dieser eignete sich auf Grund des geringeren elektrischen Widerstands besser als dünnere Fäden für die Sensorstickerei. Als Nachteil erwies sich der notwendigerweise größere Abstand (3 mm) zwischen den Fäden zur Vermeidung von Kurzschlüssen. Da der Zwirn nicht isoliert ist, musste zwischen die senkrecht und horizontal verlaufenden Fadenschleifen eine Zwischenschicht gelegt werden um einen abgekürzten Stromfluss am ersten Kreuzungspunkt von Musteranfang und Musterende zu vermeiden. Mit diesem in Abbildung 32.2 gezeigten Aufbau konnten erfolgreich unterschiedliche Belastungsstufen detektiert werden. Durch die zusätzliche Lage wird das Material am Sensorpunkt versteift und erhält eine sehr feste Haptik.

Kritische Betrachtung

Die zusätzliche Lage zwischen den Fadenschleifen sowie die sich kreuzenden Fadenschleifen bewirken eine Dickstelle am Sensorpunkt. Da die Verarbeitung zudem eine sehr exakte Handhabung der Isolierung sowie der Fadenschleifen voraussetzt, besteht bei diesem Muster Optimierungspotenzial.

6.3.2 Muster 2: Applizierte Spiralform

Resultierend aus den in Kapitel 6.3.1 geschilderten Testergebnissen erfolgte die Fertigung eines weiteren Musters mit einer ein- und auslaufenden Spiralform.

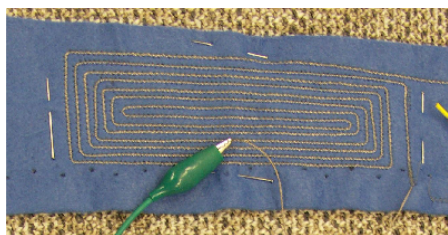


Abbildung 33: Gestickte Spiralform

Hierüber ließ sich ebenfalls auf geringem Raum ein großer Fadenvorrat verarbeiten.

Angepasst an die verwendete Elektronik, die auf einen elektrischen Widerstand von 100Ω ausgerichtet ist, entstand die in Abbildung 33 dargestellte Spirale mit den Maßen von 40 mm Breite x 130 mm Länge. Der Abstand der Fäden betrug 3 mm.

Nach dem Anschluss der Elektronik (Wheatstonesche Brücke, siehe Kap. 4.3) konnte festgestellt werden, dass der Sensor sehr sensibel auf unterschiedliche Belastungsstufen reagierte.

Kritische Betrachtung

Es handelt sich bei diesem Muster um ein sehr einfach zu fertigendes Sensorprinzip. Bei der Ausübung der Fadenapplikation mit einem Stickautomaten ist dieser Sensor auch

¹⁸Vgl. Mappenanlage

industriell sehr gut umsetzbar. Es ist zu prüfen, wie die elektrischen Widerstände der Wheatstoneschen Messbrücke in den Kissenbezug integriert werden können.

6.4 Anschlüsse und Leiterbahnen

Die Stromzufuhr bis zu den Sensorkissen erfolgt über Flachbandkabel und einadrige Litzen. Anschlüsse und Leiterbahnen sollten weitestgehend textil gefertigt werden. Aus diesem Grund wird die Stromzufuhr im Kissen mit einem applizierten leitfähigen Zwirn umgesetzt. Der selbst gestellten Anforderung entsprechend, die Sensorbezüge einem Waschvorgang unterziehen zu können, mussten im Kissen verarbeitete Elektronik und nicht textile Stromzuführungen abnehmbar sein. Die in der Elektrotechnik übliche Fügetechnik des Lötens konnte bezüglich des leitfähigen Zwirns nicht angewandt werden, da der Lötprozess zum Schmelzen des Fadens führte. Aus diesem Grund musste eine alternative Verarbeitung gefunden werden.

6.4.1 Metalldruckknöpfe

Ein erster Ansatz bestand darin, über einen metallischen *Niet-Druckknopf* mit einem Durchmesser von 13 mm eine Anschlussstelle von textiler Leiterbahn und Kabel zu schaffen. Das Druckknopf-System besitzt den Vorteil, durch ein einfaches und dauerhaft funktionelles Öffnen und Schließen eine sehr stabile Verbindung von zwei Elementen zu schaffen.

Für die Verbindung wurden der Kopf des Druckknopfes mit dem abisolierten Teil eines Kabels und das entsprechende vertiefte Gegenstück des Druckknopfes mit der textilen Fläche verbunden. Die textile Fläche bestand aus Köper (2/1) sowie einer auf das Dobby applizierten textilen Leiterbahn. Im Fall des Dobbys wurde im Bereich des Druckknopfes zusätzlich ein mit einer schmalen Überwendlichnaht umstochenes 9 cm^2 großes Quadrat aus Köper (2/1), welches mit der Leiterbahn verbunden ist, aufgeklebt. Dies sollte den Kontakt verbessern. Anschließend erfolgte bei beiden Materialien der Nietvorgang. Es zeigte sich, dass die Kabellitzen nach wiederholtem Hin-und-Her-bewegen am Übergang der Isolierung zum Druckknopfknopf brachen. Dieser Bereich ist verstärkt Zugkräften ausgesetzt und stellt eine Schwachstelle dar.

Kritische Betrachtung

Mit beiden Materialien konnte eine gute elektrische Verbindung sowie ein fester Halt im Material erzeugt werden. Eine Problemstelle ergibt sich aus dem Übergang vom Druckknopf zum Kabel. Da die Verbindung mit den verwendeten Litzen von geringer Langlebigkeit ist, wird von einer Verwendung abzuraten.

6.4.2 Crimpen

In einem zweiten Ansatz wurde eine *Crimpverbindung* getestet. Sie sollte den Übergang vom Faden der textilen Leiterbahn zu Elektronik und Kabel schaffen. Die Crimpverbindung stellt eine homogene, schwer lösbare Verbindung zwischen Leiter (textiles Garn/Kabel) und Verbindungselement (Stecker) her und erzeugt i.A. eine gute elektrische Verbindung, die nur bedingt lösbar ist.

Das mehrmals am Ende geknotete Fadenende der textilen Leiterbahn (Zwirn, hart gedreht)(Vgl. Kap. 4.2) wurde mit einer Metallcrimpe mit 3 mm Durchmesser der Firma Conrad Electronic gecrimpt und die Crimpe mit einem Stecker verbunden. Es folgte die Verlötlung der Pins des Steckers mit den Litzen. Ein Problem ergab sich aus dem scharfkantigen Ende der Crimpe, das bei Hin- und Herbewegungen des Zwirns zum Fadenbruch führte. Um dies zu vermeiden, erfolgte die Durchführung des Fadenendes durch eine Aderendhülse und die anschließende Befestigung in der Crimpe.

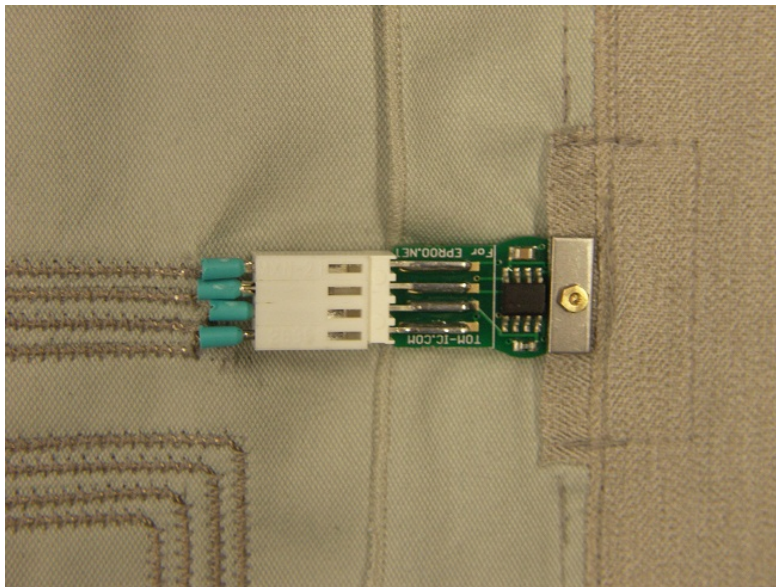


Abbildung 34: Gecrimpter Anschluss und Übergang zum Sensor

Der Kunststoff der Aderendhülsen verhinderte einen Fadenbruch und schaffte zudem Abstand zwischen dem Ende der Leiterbahnen zum Anfang des Steckers. Trotzdem stellte die Ausführung der Steppnaht bis zu den Aderendhülsen ein Problem dar, und ein Restabstand verblieb. Mit diesem Verfahren ließ sich erfolgreich eine platz sparende, verpolungssichere Verbindung mit einem guten elektrischen Kontakt schaffen, die das Abtrennen der Elektronik ermöglicht.

Kritische Betrachtung

Da die applizierten Leiterbahnen im Bereich des Steckers sehr dicht beieinander liegen, besteht Kurzschlussgefahr. Durch Bewegungen im Textil verschieben sich die Fäden, und da der Stecker auf dem Textil fest platziert ist, kommt es zu Fadenschlaufen vor der Anschlussstelle. Zudem gestaltete sich das crimpen als ein sehr zeitintensiver Arbeitsschritt, der durch die händische Fertigung zu Ungenauigkeit führt. Auf Grund der genannten Nachteile ist diese Methode ungeeignet.

6.4.3 Leitfähige Klettverschlussverbindung

In einem weiteren Ansatz wurde der Anschluss mit leitfähigem Klett (Vgl. Kap. 4.2) getestet. Klettverschluss besitzt den Vorteil, eine fast beliebig oft zu öffnende und zu schließende Verbindung herzustellen. Flausch- und Hakenband bestehen aus Nylon mit eingewobenen Metallfäden und haben einen sehr geringen Oberflächenwiderstand von $0,9 \frac{\Omega}{25\text{cm}^2}$. Für die Anschlüsse wurde der Klettverschluss in 12,5 mm breite und 30 mm lange Streifen geschnitten und das Flauschband als Nahtende der textilen Leiterbahn wie auf Abbildung dargestellt auf das Baumwollgewebe appliziert. Die Anschlussstellen hatten einen Abstand von 7 mm.

Auf das Hakenband wurde mit leitfähigem Zwirn das abisolierte Ende der Litze mit dem Zick-Zack-Stich und dem Stoffdrückerfuß mit Zuführeinrichtung aufgesteppt, indem das Klettelement senkrecht halbiert und anschließend dicht an der Außenkante umrundet wurde.

Diese Verbindungstechnik ergab einen sehr guten Kontakt. Es ist darauf zu achten, dass Flausch und Haken fest aufeinander gedrückt sind. Ein Fehlkontakt entstand durch abstehende Filamente aus dem Flausch und Berührung selbiger mit der angrenzenden Kontaktstelle.

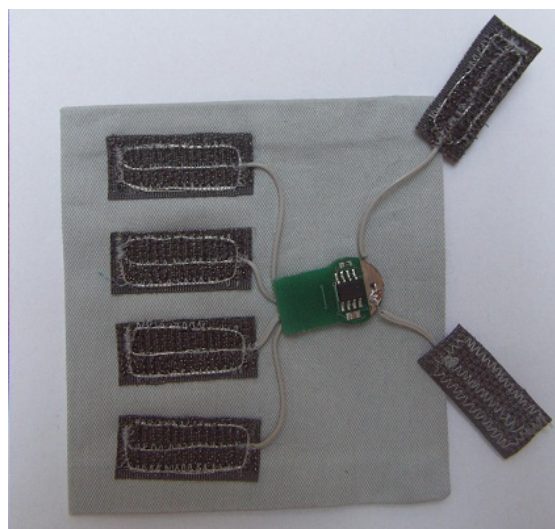


Abbildung 35: Anschlüsselement mit Klettverschluss und Sensor

Kritische Betrachtung

Die Verbindung von Leiterbahn und Kontaktstelle ist durchgängig und in einem schnellen Arbeitsprozess umsetzbar. Darüber hinaus handelt es sich um eine Verbindung aus Tex-

til, die flach ausfällt, abnehmbar ist und verpolungssicher gestaltet werden kann. Dies ist realisierbar, wenn der Flausch halb so breit ist wie der Haken und die Haken zueinander einen geringeren Abstand besitzen als ihre eigene Breite. So ließen sich auch Fehlkontakte vermeiden. Da zur Gewährleistung eines sicheren Kontakts von Flausch und Haken der Klettverschluss nicht beliebig klein gestaltet werden kann, ist eine größere Fläche notwendig. Hier entsteht bei vielen Kontaktstellen ein großer Platzbedarf, der jedoch im Falle des Kissens keine weiteren Probleme erzeugt. Zudem ist die Verbindung Flausch und Haken schon mit mäßig großer Kraftaufbringung trennbar, da sie durch das Kissen- und Sitzgewicht jedoch aneinander gedrückt werden ist ein zufälliger Trennvorgang unwahrscheinlich. Um die Verbindung von Flausch und Haken zu verbessern, ist es empfehlenswert, das Klettelement nur rundherum aufzusteppen und auf die mittige Naht zu verzichten.

7 Der Prototyp

In diesem Kapitel wird die Fertigung der Prototypen des resistiven Sensorkissenbezugs nach Wirkungsprinzip 1 sowie die des kapazitiven Sensorkissenbezugs dargestellt. Ein Schwerpunkt der Prototypenentwicklung lag dabei auf der Anordnung von Anschlüssen und Leiterbahnen. Die Umsetzung bauen auf die Erkenntnissen der in Kapitel 6 getesteten Musterentwicklungen auf und sollen zeigen, wie sich die mit Erfolg getesteten Technologien in realer Umgebung verhalten. Dafür wurde beispielhaft für jede Sensortechnologie ein Prototyp in Originalgröße als Kissenbezug gefertigt. Der resistive Sensor 1 wurde als Kissenbezug eines Rückenkissens gefertigt. Wie Tabelle 16 zeigt, soll hierdurch detektiert werden, wie groß das Gewicht der Person auf dem Sofa ist, wo sie auf dem Sofa sitzt und wann sie sich setzt oder aufsteht. Der kapazitive Sensor wurde in ein Rückenkissen integriert, da sich dadurch ein Annähern und Entfernen an die Rückenlehne sowie ergänzend zum resistiven Sensor die exakte Position der Person auf dem Kissen und ein Hinsetzen und Aufstehen detektieren lässt.

Tabelle 16: Anforderungen an den Prototypen

Prototypenanforderung		
Detektierbarer Ablauf/Zustand bzgl. einer Person	resistiver Sensor	kapazitiver Sensor
Annäherung/Entfernung	x	
Gewicht auf Sitzfläche		x
Position auf Sitzfläche	x	x
Position auf Sitzfläche (schräg)	x	
Hinsetzen/Aufstehen	x	x

7.1 Kapazitiver Sensor

Das kapazitive Sensorwirkungsprinzip ist für die Integration im Rückenkissen vorgesehen, da die Annäherung eines Objektes, nicht jedoch deren Gewicht ermittelbar ist. Wie sich aus den Ergebnissen der voran gestellten Kapitel 6.1.2 und 6.1.3 ableiten lässt, sind zum Erreichen eines guten sensorischen Ergebnisses zwei rechteckige Elektroden auf der Innenseite des Kissenrückens geeignet.

Für die Schnittteile wurden die Maße von den Kissenpolstern abgenommen und ein Schnittbild erstellt. Es besteht aus 15 Schnittteilen, die Bemaßung enthält eine Nahtzu-

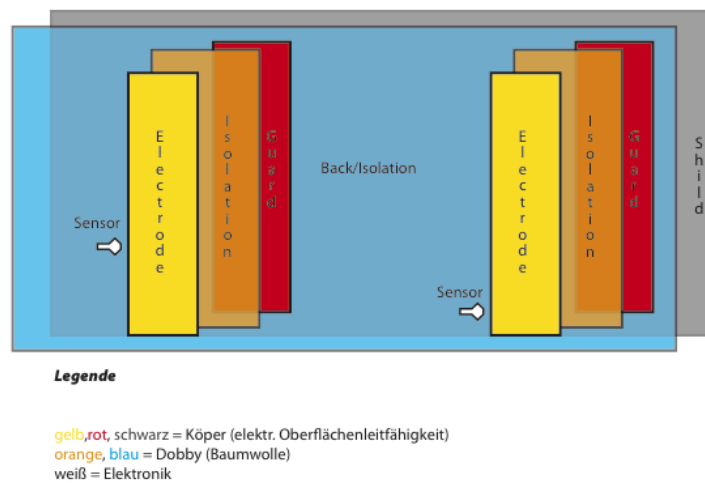


Abbildung 36: Konstruktion des kapazitiven Sensors

gabe von 10 mm an allen Schnittkanten.

Fertigung: Vordere Elektrode und Schirmung

Die Verarbeitung der vorderen Elektrode basiert auf den Ergebnissen aus Kapitel 6.1.5, worin gezeigt wurde, dass sich Elektrode und Schirmung zur vollständigen Schirmung der inneren Elektroden überlappen müssen. Für diese Überlappung wurden vier 45 mm breite Streifen mit im 45° zur Innenseite zulaufenden Enden, zwei in der Breite des Kissens (940 mm) und zwei mit der Höhe (400 mm) des Kissens aus Körper 2/1, zugeschnitten. Je zwei Streifen bildeten eine Ecke, sodass ein Rechteck entstand. Als Isolierung diente ein weiteres Rechteck aus Dobby mit denselben Innenmaßen, aber 2 mm breiter. Diese beiden „Rahmen“ wurden an den Innenkanten rechts auf rechts verstürzt und auf Paspel gebügelt, sodass der Dobby 2 mm vorpaspelt. Auf diesen Rahmen wurde die Elektrode mit einer eingeschlagenen Nahtzugabe von 10 mm aufgesteppt, die Warenunterseite (WU) der Elektrode liegt dabei auf der Warenoberseite (WO) des Dobbys (Schirmungsrahmen). Sie überlappt den Rahmen um 15 mm. Die nun aus dem Schirmungsrahmen sowie der Elektrode bestehende Vorderseite wird rechts auf rechts in das Kissen eingestürzt.

Fertigung: Innere Elektroden

Die Fertigung der inneren Elektroden erfolgte wie in Kapitel 6.1.5 geschildert. Eine Drittelung der Gesamtrückenfläche ergab die Position der Elektroden. Diese haben die Maße von 90 mm Breite x 340 mm Höhe, die Isolierung die Maße von 140 mm Breite x

360 mm Höhe, der Guard die Maße von 100 mm Breite x 350 mm Höhe. Die gewählte Elektrodenbreite ermöglicht einen Abstand von < 300 mm, sodass wie in Kapitel 6.1.2 geschildert ein Überspringen des kapazitiven Feldes unterbunden wird. Da sich herauslösende Fäden an Schnittkanten des Körper (2/1) als Störquelle erwiesen, wurden diese mit einer schmalen Überwendlichnaht gesichert. Durch die Verwendung der Überwendlichnaht ließen sich Dickstellen vermeiden, wie sie bei einem herkömmlichen Verfahren der Kantensicherung durch den Einschlag der Nahtzugabe entstehen.

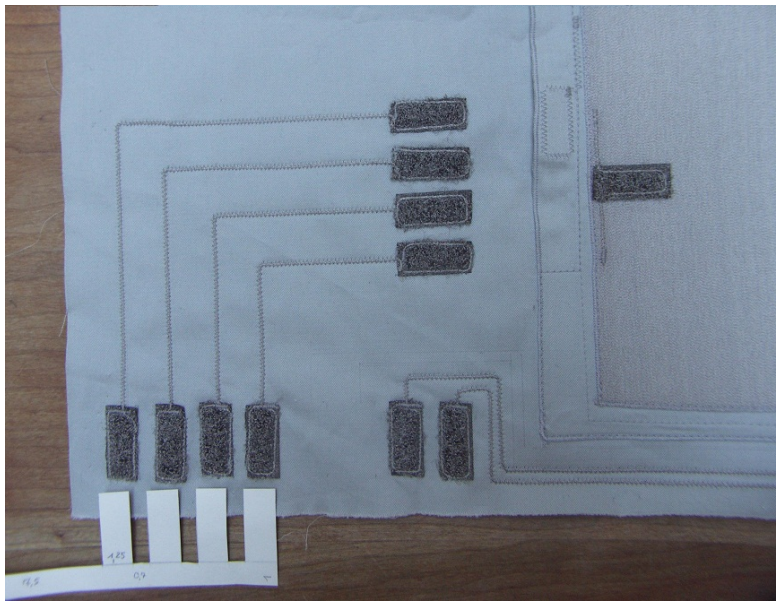


Abbildung 37: Innere Elektrode mit Klettverbindungen und Leiterbahnen

Anschlüsse und Leiterbahnen

Anschlüsse und Leiterbahnen wurden wie in Kapitel 6.4 erläutert mit leitfähigem Klettverschluss sowie leitfähigem Zwirn realisiert. Für den Anschluss der inneren Elektroden ist ein komplexer Anschlussaufbau erforderlich. Hierfür wird bei den Elektroden ein Sensor angeschlossen, der den Messwert erfasst. Vier Leiterbahnen übertragen die Sensordaten an ein vieradriges Flachbandkabel, wobei zwei Adern für die Stromversorgung des Sensors zuständig sind (plus und minus), die anderen beiden für den Datentransport (Datenzu- und Abführung). Am Kissenrand befindet sich die Schnittstelle von Leiterbahnen und Kabeln, welche die Sensorwerte an das CapSense-Toolkit weiterleiten. Hier erfolgen die Bündelung der Informationen mehrerer Sensoren und die Umwandlung des Wechselstroms in Gleichstrom. Die von *Oliver Dreschke* entwickelte Software empfängt die sensorischen Messwerte, wertet sie aus und stellt sie in Form einer graphischen Kennlinie dar.

Jeweils der Übergang einer textilen Fläche oder einer Leiterbahn zur Elektronik wurde mit Klettverschluss geschaffen. Dabei wurde jeweils die elektronische Komponente mit dem Hakenband, die textile Komponente mit dem Flauschteil des Klettverschlusses verbunden. Auf jede Elektrode wurde das Klettelement (Flausch) mit leitfähigem Zwirn waagrecht auf die Warenoberseite aufgesteppt, jeder Guard erhielt ein senkrecht aufgestepptes Klettelement auf der Warenunterseite. Auf das entsprechende Hakenband-Pondont wurden die abisolierten Litzen des Kabels aufgesteppt. Da diese nicht geschirmt und somit sensorisch wirksam sind, muss die Platzierung der Flauschelemente den kürzesten Weg von der Elektrode zum Sensor ermöglichen. Die Kabel von Elektrode und Guard wurden auf die entsprechenden Kontaktflächen des Sensors gelötet und die restlichen Sensorpins ebenfalls mit je einem Kabel verlötet, die wiederum auf je einem Hakenband aufgesteppt sind. Da der Sensor im Falle eines Waschvorgangs abgelöst werden muss, wurde die Einheit aus Sensor und Anschlüssen auf ein separates Rechteck aus Dobby mit einem Abstand von 7 mm aufgesteppt.

Entsprechend der Vierergruppe der Hakenbänder wurden Flauschbänder auf die Kissentrückwand mit leitfähigem Garn aufgesteppt und die Leiterbahn bis zum Kissenrand weitergeführt, wo sie in weiteren Flauschelementen endeten. Vier entsprechende Hakenelemente schafften den Übergang zu den Kabeln.

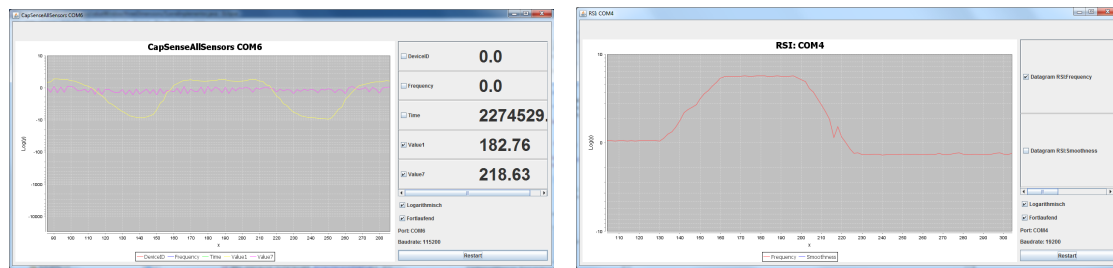
Auch der Anschluss der vorderen Elektrode sowie der Schirmung erfolgte mit je einem Klettelement. Der Testversuch zeigte bei Annäherung und Berührung erfolgreich die erwartete Reaktion (siehe Kapazitätsprüfung Köper 2/1, Kapitel 5.4).

Darstellung und Messwerte

Beim Praxistest mit dem im Sofa integrierten Sensorkissenbezug konnte eindeutig zwischen einer menschlichen Annäherung an die rechte oder linke innere Elektrode unterschieden werden. Die folgenden Ergebnisse, siehe Abbildung 38.1, zeigen eine Annäherung an die rechte Elektrode. Die Sensordaten wurden dabei vom CapSense-Toolkit ausgewertet:

- Rechte Elektrode ist aktiviert
- Reaktion ab ca 40 cm
- Linke Elektrode reagiert kaum

Die vordere Elektrode, angeschlossen an den Sensor aus der Sicherheitstechnik, reagierte ab ca. 90 cm Abstand. Der in Abbildung 38.2 gezeigte Graph stellt dies dar.



38.1: Innere Elektrode

38.2: Vordere Elektrode

Abbildung 38: Graphische Darstellung der Sensorreaktion

7.2 Resistiver Sensor 1

Der Prototyp des resistiven Sensors wurde für das mittlere Sitzkissen gefertigt. Die Sensoren befinden sich auf dem Boden der Kissenhülle. Dies hat den Vorteil, dass erforderliche Dickstellen durch Leiterbahnen und Anschlüsse nicht im unmittelbaren Kontakt mit dem Anwender stehen. Die Kissenhülle besteht, wie Abbildung 39 zeigt, aus 6 Schnittteilen, deren Maße der Kissenfüllung entnommen wurden.

Für eine gute Detektierung erwies sich eine Matrix mit sechzehn Sensorpunkten, bestehend aus acht Sensoren, als geeignet. Sie haben einen Abstand von 185 mm in der Breite und einen Abstand von 145 mm in der Tiefe und verteilen die rechteckige Sitzfläche. Wie in Kapitel 6.2.2 geschildert besteht der Sensor aus drei Lagen. Für die äußeren Lagen wurde der Dobby gewählt, die mittlere Lage ist aus einem mit einer PES Membran beschichteten Nylon Ripstopgewebe (Vgl. Kap. 4.2) gefertigt. Durch die Membran wird das Herauslösen von Schuss- oder Kettfäden an den kreisförmigen Ausstanzungen unterbunden und auf die Sicherung der Schnittkanten kann verzichtet werden. Da es sich in den Vorversuchen als zweckmäßig erwies, die Zwischenlage

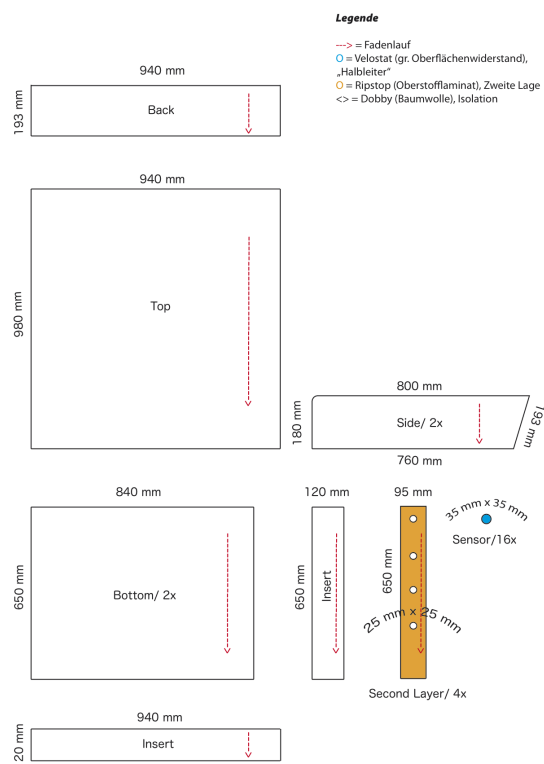


Abbildung 39: Schnittbild des Sitzkissens

streifenförmig zu fertigen, wurden vier Streifen mit einer Breite von 95 mm und einer Länge von 650 mm zugeschnitten, in welche entsprechend der Sensorpunktabstände kreisförmige Ausschnitte mit 25 mm Durchmesser ausgeschnitten wurden. Wie Abbildung 40 zeigt, erfolgte die knappkantige Aufbringung der Velostat Elemente auf die Warenunterseite (35 mm Durchmesser) mit einem Dürkopp Adler Industrienäher und Doppelsteppstich (4 Stichen pro cm).

Um zusätzliche Einstiche zu vermeiden, wurde die Naht ohne Anfangs- aber mit Endverriegelung ausgeführt. Anschließend wurden die Streifen mit einer eingeschlagenen Nahtzugabe von 10 mm auf die Außenlage gesteppt, sodass die Leiterbahn auf der Außenlage die Sensorpunkte mittig schneidet.

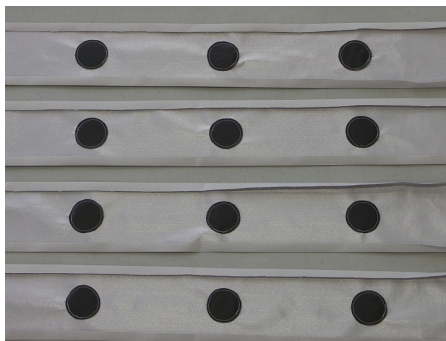


Abbildung 40: Aufgesteppte Sensorpunkte (Warenunterseite)

Anschlüsse und Leiterbahnen

Die Fertigung der Anschlüsse und Leiterbahnen erfolgt wie in Kapitel 6.4 geschildert mit leitfähigem Klett und leitfähigem Zwirn. Auf der Außenlage verläuft die geerdete Leiterbahn (Minuspole) senkrecht. Für den Anschluss der Leiterbahn am Kissenrand wurde ein quadratisches Klettelement auf den Dobby aufgesteppt.

Auf die zweite Außenlage wurden horizontal verlaufend Leiterbahnen für den Pluspol aufgestickt. Sie laufen zum rechten Kissenrand und enden in je einem Flauschelement.

Durch diesen Aufbau wird an jedem Sensorpunkt ein Leiterbahnenkreuz gebildet, welches bei Kraffteinwirkung über die Velostatschicht einen elektrischen Stromfluss vom Pluspol zum Minuspol ermöglicht. Wie Abbildung 41 zeigt, bildete je eine horizontale Sensorreihe eine Vierer-Anschlussgruppe. Da sich das Ende des Kissenreißverschlusses in einem Abstand von 100 mm vom Kissenrand in der rechten hinteren Ecke befand, mussten die Anschlussstellen ebenfalls einen Abstand von 100 mm haben, sodass das Anschlusskabel mit geradem Verlauf aus dem Kissen geführt werden kann. Dies war wichtig, da das Flachbandkabel nicht seitlich gebogen werden konnte.

Um eine praktikable Einheit von Hakenband und Kabel zu schaffen, wurden die Flachbandkabel mit einem separaten Schnittteil verbunden. Dieses bestand aus einem Rechteck (Basis) mit 170 mm Breite x 550 mm Länge aus Dobby, welches gefaltet und mit einer Nahtzugabe von 10 mm verstürzt wurde. Bei einem weiteren Rechteck von 70 mm Breite x 550 mm Länge wurden alle Schnittkanten je 10 mm umgebügelt, das Rechteck links auf links gefaltet und bündig mit den verstürzten Kanten des Basisrecht-

ecks knappkantig auf dieses aufgesteppt. In den entstandenen Schlauch wurden zwei zehnadriges Flachbandkabel zwischen gelegt. Je acht Litzen wurden in entsprechender Länge abisoliert und aus dem Schlauch rausgeführt, zwischen den Litzen wurde der Schlauch auf dem Basisrechteck festgeriegelt. Entsprechend den Vierer-Gruppen aus Flauschband wurden die Hakenbänder, quer zur Schnittkante, auf das Basisrechteck aufgesteppt, wobei jedes Element mit einer Litze verbunden wurde.



Abbildung 42: Anschlusselement des resistiven Sensors 1

Da das Sensorarray auf Grund der Folie nicht waschbar ist, ist der gesamte Rückenboden des Prototyps abtrennbar. Dies wird über einen Spiralreißverschluss aus Kunststoff mit einer Bandbreite von 25 mm und der Spiraltiefe von 3 mm realisiert, welcher um den Boden herum verläuft. Da ein nicht teilbarer Reißverschluss mit geeigneter Band- und Schließgliederbreite sowie einer passenden Farbe zur Verfügung stand, wurde dieser statt einem Teilbaren verwendet. Sollte ein textiles Material



al als Ersatz für die Velostat-Folie gefunden werden, so kann auf einen rundum verlaufenden, teilbaren Reißverschluss verzichtet werden. Der Reißverschluss besäße dann lediglich die Funktion, dass Ab- und Aufziehen der Kissenhülle zu ermöglichen.

Abbildung 41: Klett-Anschlusselement des Prototyps

Messwerte und Darstellung

Im Labor erfolgte eine Messreihendurchführung mit einem Sensorpunkt und unterschiedlichen Belastungen. Bei Belastung reagiert der Sensor in exponentieller Form, wie Tabelle 17 zeigt. Schon bei geringer Belastung (12 kPa) spricht dieser an und

der Messwert sinkt von 1010 (Ursprungswert) auf 344 (Belasten). Nach weiteren 2 min pendelt sich der Messwert bei 309 ± 2 ein. Mit zunehmender Belastung stagniert die Sensorreaktion.

Tabelle 17: Ergebnisse unterschiedlicher Belastungsstufen des Sensors

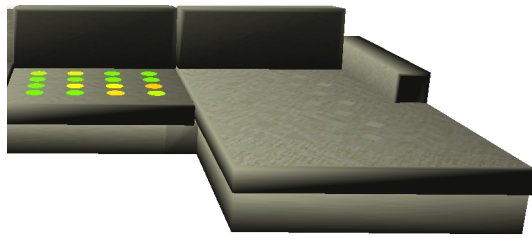
Belastungsstufen eines Kraftsensorpunktes bei Zick-Zack Musterstickerei durchgängig übergestept (langer Sensorfaden) = Prototyp			
Belastung [kPa]	Belasten*	1 min	2 min
12 kPa Mittelwert	344	313	309
relative Standard - abweichung in %	4	6	6
24 kPa Mittelwert	208	193	189
relative Standard - abweichung in %	4	5	4
36 kPa Mittelwert	170	155	152
relative Standard - abweichung in %	6	8	8

Bewertung:

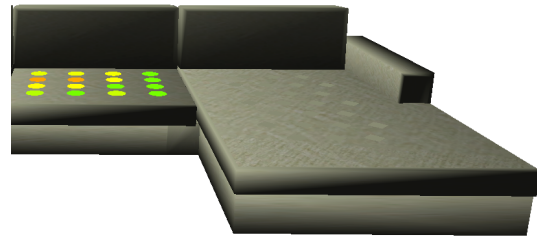
- Es können unterschiedliche Belastungen identifiziert werden
- Je stärker die Belastung, desto geringer sind die Messwerte
- Die Messwerte streuen mit 4-8 % noch geringer als beim vorhergehenden Muster mit einer relativen Standardabweichung von 7-10 % (siehe Kapitel 6.2.2)
- Da sich die einzelnen Messbereiche nicht überschneiden, lassen sich die Belastungsstufen (12 kPa, 24 kPa, 36 kPa) auch hier eindeutig identifizieren.

Ergänzend zu den Labormessungen wurde der Sensorkissenprototyp unter realen Bedingungen im Sofa getestet. Über das dreidimensionale Sofamodel konnte die Sensorreaktion, wie in Abbildung XY bis XY gezeigt, visualisiert werden. Es wird mit folgendem Farbspektrum gearbeitet:

- grün (keine Belastung)
- gelb (leichte Belastung = 40 kg)
- orange (mittlere Belastung = 60 kg)
- rot (starke Belastung = 85 kg)



43.1: Leichte Person sitzt vorne rechts



43.2: Person mit mittlerem Gewicht sitzt hinten links



43.3: Schwere Person sitzt hinten links, mittel-schwere Person sitzt vorne rechts

Abbildung 43: Sensorreaktion, visualisiert über das 3D Sofamodell mit unterschiedlichen Belastungen

7.3 Zusammenfassung der Prototypenfertigung

Die Prototypenfertigung eines Rücken- und eines Sitzkissens mit zwei unterschiedlichen Sensortypen konnte erfolgreich umgesetzt werden.

Ein exemplarischer Ablauf mit der Annäherung einer Person könnte wie folgt aussehen:

1. Detektierung einer Annäherung durch den äußeren Sensor
 - Seiten- und Rückenbereich geschirmt, innerer Sensor nicht aktiviert
2. Nach Übertreten eines bestimmten Schwellenwertes Umschalten des vorderen Sensors auf Schirmung
 - Kissen komplett geschirmt
3. Aktivierung des inneren Sensors
 - Keine Annäherung mehr detektierbar, aber Veränderung im Kissen über die Abstandsänderung von Schirmung (Masse) zur inneren Elektrode
4. Person steht auf, Kissen wird vollständig entlastet

- Innerer Sensor nach Erreichen eines bestimmten Schwellenwertes deaktiviert, vordere Elektrode wird angeschaltet und Annäherung wieder detektierbar

Zur Überprüfung der Aktualität der Messwerte von innerem und äußerem Sensor wird empfohlen, in regelmäßigen Abständen Stichproben durchzuführen.

Die beiden geprüften Sensortypen arbeiten erfolgreich zusammen in einem Sofa. Die gestellten Anforderungen an die Prototypen wurden, wie Tabelle 18 zeigt, erfüllt.

Tabelle 18: Sensorische Fähigkeiten der Sensortypen

Detektierbarer Ablauf/Zustand bzgl. einer Person	kapazitiver Sensor		resistiver Sensor 1
	Äußere Elektrode	Innere Elektrode	
Annäherung/Entfernung	90 cm vor dem Rücken-kissen => vor dem Sofa stehend		
Belastung/Entlastung der Sitzfläche			Unterscheidung leichte = 40kg, mittlere = 60 kg, schwere = 85 kg Person
Position auf Sitzfläche ohne Anlehnen	ja		9 verschiedene Positionen ermittelbar
Position auf Sitzfläche mit Anlehnen		ja	
Position auf Sitzfläche (schräg) mit Anlehnen		ja	

Da die Reichweite der äußeren Elektroden wie in Kapitel 5.4 beschrieben nur 900 mm beträgt, ist über das Rückenkissen nur eine Annäherung einer sich direkt vor dem Sofa befindlichen Person erfassbar. Zur Detektierung einer Annäherung an das Sofa müsste ein weiterer kapazitiver Sensor z.B. in den Fußbereich oder in einen vor dem Sofa liegenden Teppich integriert werden. Zur Bestimmung der Höhe eines Objektes auf dem Sofa sind weitere Elektroden im Rückenkissen erforderlich. Wie in Kapitel 6.1.3 beschrieben könnte dies mit vier sich kreuzenden streifenförmigen Elektroden umgesetzt werden, so dass sich auf dem 400 mm hohen Kissen zwei Sensorpunkte im Abstand von ca. 130 mm übereinander befinden.

8 Gegenüberstellung der Sensortechnologien

In diesem Kapitel werden die Sensortechnologien bezüglich ihrer Wirkungsweise, der Entwicklungsphase sowie der Prototypenfertigung verglichen. Dabei wird auf folgende Kriterien eingegangen: sensorische Fähigkeit, Komplexität des sensorischen Aufbaus, Komplexität der Fertigung, zeitlicher Aufwand der Entwicklung, Ergebnisstand des Prototyps sowie Anregungen für die industrielle Fertigung.

Kapazitiver Sensor

Der *kapazitive Sensor* besitzt den komplexesten Aufbau. Er besteht aus einem mehrschichtigen Sensorarray aus Elektrode, Guard und Schirmung. Hier entstanden konzeptionelle Herausforderungen bei der Zusammenführung von Elektrode und Schirmung, die im Verhalten des kapazitiven Feldaufbaus bei den leitfähigen textilen Flächen implementiert sind. Bedingt durch die Eigenschaften der oberflächenleitfähigen textilen Flächengebilde, Fäden und Klettverschlüsse ergaben sich spezielle Anforderungen, die bei der Fertigung berücksichtigt werden mussten. Es zeigte sich, dass nicht jede oberflächenleitfähige textile Fläche als Elektrode und Schirmung geeignet war. Da bezüglich textiler Elektroden auf kein Fachwissen zurückgegriffen werden konnte, basieren die Erkenntnisse auf den empirischen Untersuchungen der Entwicklungsphase und erforderten die Durchführung ausgewählter physikalischer Prüfungen. Demzufolge ergab sich hier ein sehr hoher Test- und Entwicklungsaufwand. Bezüglich der Materialkosten ist diese Sensortechnologie sehr aufwendig, da die gesamte Kissenhülle sowie zusätzliche Sensorelemente aus leitfähigem Material gefertigt werden müssen. Ferner werden zusätzliche textile Komponenten wie leitfähigem Klettverschluss, leitfähigem Zwirn und Nähgarn benötigt. Hinzu kommen die Kosten der elektronischen Komponenten pro Kissen, bestehend aus dem CapSense und dem Sensor aus der Sicherheitstechnik sowie Kabel.

- Textile Fläche: viel und teuer da leitfähig (> ca. 60 €/ m)
- Textile Komponenten: viele
- Elektronik: viel und teuer (ca. 500 €)
- Konstruktion: dreilagig
- Herstellung: aufwendig

Es ist denkbar, statt der Aktivierung der vorderen Elektrode das Kissen offen zu lassen, sodass eine Annäherung durch die inneren Elektroden detektiert wird. In diesem Fall

entfielen der Sensor aus der Sicherheitstechnik im Wert von ca. 300 €.

Der Ergebnisstand des Prototyps ist der Zielsetzung entsprechend und ermöglicht erfolgreich Objektdetektierungen bei Annäherung und Kontakt, die durch die Software von *Oliver Dreschke Masterarbeit (2011)* ausgewertet und durch ein 3D Model sowie einer graphischen Darstellung visualisiert werden können. Bei einer industriellen Fertigung bietet es sich an, die im vorliegenden Fall mit einem Handbügeleisen verbundenen Materiallagen (Visofix Klebe) durch einen Fügeprozess per Fixierpresse zu verbinden. Gestickte Leiterbahnen sowie Anschlüsse können durch einen Stickautomaten erstellt werden.

Resistiver Sensor 1

Gegenüber dem kapazitiven Sensor ist der *resistive Sensor 1* einfacher aufgebaut. Lediglich zwei Lagen werden benötigt, um als Trägermaterial die aufgestickten Sensorfäden zu führen, eine partielle Zwischenlage im Bereich der Sensorpunkte ermöglicht bei Krafteinwirkung progressiv einen elektrischen Stromfluss. Durch den zweilagigen Aufbau aus Dobby sowie den eingearbeiteten Streifen des Ripstopgewebes mit Folie besitzt der Kissenbezug sehr geringe Materialkosten. Die Umsetzung der Leiterbahnenstickerei erwies sich durch den Gebrauch des Spezialnähmaschinenfußes als gut durchführbar. Für ein optisch gutes Ergebnis war eine exakte Arbeitsweise beim Sticken erforderlich. Die Entwicklungsphase wurde zeitlich durch die Suche nach einem geeigneten hochohmigen Zwischenlagenmaterial bestimmt. Es fanden sich einige Materialien, die dem von Plusea genutztem Velostat entsprachen, beim Testlauf aber nicht die erforderlichen Eigenschaften aufwiesen. Bewertend lässt sich zusammenfassen:

- Textile Fläche: weniger und günstig (ca. 5 €/ m)
- Textile Komponenten: viele
- Elektronik: nur ein Mikrocontroller notwendig (ca. 250 €)
- Konstruktion: zwei/ dreilagig
- Herstellung: einfacher

Im Hinblick auf eine industrielle Fertigung ist es ratsam, die verwendete Folie durch ein entsprechend textiles Material zu ersetzen und damit die Vorteile eines vollständig textilen Aufbaus geltend zu machen. Des Weiteren sollten sämtliche Applikationen von einem Stickautomaten ausgeführt werden. Die Umsetzung des Prototypen war erfolgreich.

Resistiver Sensor 2

Der *resistive Sensor 2* ist in seinem sensorischen Aufbau am einfachsten konstruiert. Der Aufbau beschränkt sich auf eine einzige Materiallage aus Dobby, auf welchem der Sensorfaden aufgestickt ist. Für die Fertigung der Stickerei musste herausgefunden werden, welche Stichbreite sowie Stichdichte zu einem guten Ergebnis des entwickelten Musters führt. Bei einer wie im vorliegenden Fall manuellen Fertigung ist eine exakte Arbeitsweise und Übung für die Stickerei Voraussetzung, da anderweitig unerwünschte Fadenkontakte auftreten. Des Weiteren setzte die verwendete Elektronik einen Widerstand von 100Ω pro Sensorpunkt voraus, was die Fertigung maßgeblich beeinflusste. Diese Anforderungen bestimmten den zeitlichen Aufwand der Entwicklung sowie der Fertigung. Die Materialkosten beschränkten sich auf den Dobby sowie den leitfähigen Zwirn. Die erforderliche Elektronik setzte sich aus einem Arduino, Widerständen sowie Kabel zusammen.

- Textile Fläche: wenig und günstig (ca. 5 €/ m)
- Textile Komponenten: weniger
- Elektronik: nur ein Mikrocontroller notwendig (ca. 250 €)
- Konstruktion: einlagig
- Herstellung: einfach

Für eine industrielle Fertigung empfiehlt sich der Kauf eines Stickautomaten. Die Umsetzung dieser Sensortechnik in einen Kissenprototyp wurde nicht vorgenommen, weil dies den Umfang und den zeitlichen Rahmen dieser Arbeit gesprengt hätte. Der Sensor arbeitet erfolgreich mit der von *Oliver Dreschke, Masterarbeit 2011* entwickelten Software.

9 Ausblick

Die in dieser Forschungsarbeit entwickelte Sensortechnologie ist über den vorgesehenen Anwendungsbereich einer Sitzpositions- und Belastungsbestimmung im Sofa hinausgehend auch in weiteren Anwendungsbereichen einsetzbar. Ein flexibler struktureller Aufbau ermöglicht bei Angleichung der Polsterbezugsgröße und geeigneter Unterpolsterung die Integration in jedes beliebige Sofa. So sind auch personenspezifische Steuerungen raumumgebender Funktionen wie Licht oder Radio in Standorten wie Museen, Kunstinszenierungen, Yachtsalons, Hotels etc. realisierbar. Über die Bestimmung der Sitzposition lässt sich der Anwender optimal in die Ausrichtung von Licht oder Klang einbeziehen und die Ausgabeelemente können bei Veränderung sofort angeglichen werden. Darüber ist z.B. ein stets ausgewogenes Klangerlebnis einer Dolby Surround Anlage umsetzbar.

Weitere Einsatzbereiche der kapazitiven Sensortechnologie sind im Bereich des *Ambient Assisted Living (AAL)* - „Altersgerechte Assistenzsysteme für ein gesundes und unabhängiges Leben“¹⁹ vorstellbar. Ambient Assisted Living unterstützt in individueller Weise mit Methoden, Konzepten, Systemen und Dienstleistungen das alltägliche Leben gesunder älterer, multimorbider Menschen und Menschen mit Behinderungen. Die Unterstützung erfolgt situationsabhängig und unaufdringlich, wobei verschiedene Technologien für eine effiziente Verbesserung der Lebensqualität vernetzt und modular aufgebaut sein können. Ambient Assisted Living folgt dabei dem Trend älterer alleinlebender Menschen, die auf Grund des demographischen Wandels in zunehmender Zahl unsere Gesellschaft ausmachen und noch im hohen Alter Anspruch auf ein selbstständiges Leben im häuslichen Umfeld zeigen. Dem daraus resultierendem erweiterten Kommunikations- und Sicherheitsbedürfnis ist Rechnung zu tragen. Hier wird die Technik wirksam. Über ein smartes Teppichunderlay mit kapazitiver Sensortechnologie lassen sich Personenstürze detektieren und ein Alarm kann Hilfe anfordern. Diese erfolgt bei einem Einmann-Personenhaushalt von auswärts oder in Alten- oder Pflegeeinrichtung durch Personal vor Ort. So ist akute ärztliche Betreuung ohne zusätzliche Personalkosten realisierbar.

Über kapazitive Sensoren lassen sich bei stark abweichenden Personenmassen wie einem Kind, Haustieren, einem Erwachsenen oder Personengruppen über den Wasseranteil der Masse Personen unterscheiden. Bei großflächiger Verarbeitung unter Teppichauslegware könnte ein smartes Teppichunderlay zu kontextsensitiver Auswer-

¹⁹Zitat: Bundesministerium für Bildung und Forschung, Ambient Assisted Living, <http://www.aal-deutschland.de/>, 26.12.2010.

tung von Personenbewegungen im Raum dienen. Betreten bspw. eine Katze und eine Personen in einer privaten Wohnumgebung von unterschiedlichen Seiten den Raum, bewegen sich in diesem, kreuzen die Wege und gehen wieder auseinander, so ist nachvollziehbar, wer in welcher Richtung den Weg im Zimmer fortsetzt. Verlässt die Person den Raum, so muss im anschließenden Raum das Licht angehen, für die Katze hingegen wird kein Licht aktiviert. Des Weiteren ist ein smartes Teppichunderlay als sensitive Fußmatte für den Einbruchschutz denkbar.

Bei der Anwendung von textilen kapazitiven oder resistiven Sensoren im *Öffentlichen Personennahverkehr - ÖPNV* oder Fernverkehr ließe sich über Personenmonitoring die Einsatzplanung optimieren. Es können Stoß- und Leerzeiten detektiert und flexibel reguliert werden.

Bei den genannten Einsatzbereichen ist es erforderlich, dass die Innovation positive Resonanz und Akzeptanz beim Anwender findet. Dies ist durch eine fundierte Marketingstrategie sowie den Rückhalt im Handel umsetzbar.

Die entwickelte Sensortechnologie ist für Polstermöbel vorgesehen. Diese sind als Home Accessoires im hochpreisigen Segment angeordnet und bilden daher eine gute Basis für die Akzeptanz steigender Verkaufspreise durch integrierte Technik. Darüber hinaus handelt es sich um ein Produkt mit erwartungsgemäß hoher Lebensdauer, woraus sich an die Technik besondere Qualitätsansprüche ableiten lassen, um einer vorzeitigen Entsorgung aufgrund technischer Defekte vorzubeugen.

Diesen Herausforderungen gerecht zu werden und mit Ideen und Fachwissen neue Entwicklungen interdisziplinär voran zu treiben, stellt die Aufgabe der Textil- und Bekleidungsindustrie in den kommenden Jahren dar.

Glossar

Crimpverbindung	Verbindung, bei der auf die Enden eines Kabels meist mit speziellen Crimpzangen Stecker aufgespresst werden., 57
Elektrosmog	Engl. smoke = Rauch und engl. fog = Nebel, Umgangssprachl. Bezeichnung für die Gesamtheit aller künstlich erzeugten elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder und Wellen, die Mensch und Umwelt belasten., 14
Halbschelle	Zwei halbrunde, durch Schrauben regulierbare Metallelemente, eingesetzt zu Befestigungszwecken in der Licht- und Tontechnik., 32
Kaltschaum	Hochwertiger Polyetherschaumstoff, der meist im Blockschaumverfahren hergestellt wird und als HR - High Resilient - hochelastischer Schaumstoff einen weichen Griff sowie einen hochelastischen Polsterkomfort erreicht. Die unregelmäßige, grob - offenzellige Porenstruktur ermöglicht eine hohe Luftdurchlässigkeit und einen guten Feuchte-transport. (FoamWorld GmbH & Co. KG, 2010), 5
Kapazität, elektrische	Eine physikalische Größe aus dem Bereich der Elektrostatik, die den Proportionalitätsfaktor zwischen der elektrischen Spannung U und dem elektrischen Fluss Ψ ausdrückt, 14
Loden	Wollgewebe in Leinwand oder Köperbindung, gewalkt und geraucht, z.T. imprägniert und als Wetter- oder Reisebekleidung meist in typ. Grau oder Grüntönen gefertigt., 49
MacMini	Desktop-PC der Firma Apple mit einem sehr kleinen Formfaktor, 18

Multimorbidität	‘multi’ - viele und ‘Morbus’ - lateinisch: Krankheit, beschreibt das gleichzeitige Bestehen mehrerer Krankheiten bei einer einzelnen Person., 74
Raumgewicht	Das Raumgewicht RG ermittelt sich aus der Masse eines Flächengebildes zu seinem Volumen und berücksichtigt bei porigen Körpern die eingeschlossene Luft. Es wird in $\frac{kg}{m^3}$ angegeben und gilt im Polstermöbelbereich als Qualitätsmerkmal des verwendeten Schaumstoffes. Je höher das Raumgewicht bei gleich bleibender Härte ist, desto besser sind die Gebrauchseigenschaften da der Schaumstoff eine hohe Elastizität bei geringerer Materialermüdung aufweist., 5
Smart Clothes	Der Begriff Smart Clothes kommt aus dem Englischen und setzt sich aus smart - schlau/intelligent und clothes - Kleidung zusammen. Er bedeutet also direkt übersetzt intelligente Kleidung. [...] In der Fachliteratur fehlt jedoch die eindeutige Definition von Smart Clothes, allenfalls sind Umschreibungen zu finden, die die Autoren je nach Verwendungszweck unterschiedlich auslegen. [...] Jedoch hilft die Untergliederung der Smart Clothes in so genannte Intelligenzstufen., 7
Vigilanz	lat., vigilis - wachsam, vigilantia - Wachsamkeit. Vigilanz ist der medizinische Begriff für den Wachheitsgrad., 11
Visofix	Klebevlies zum Verbinden zweier textiler Flächen, 46

A Anhang

A.1 Materialübersicht

Tabelle 20: Materialübersicht

Materialübersicht						
Material	Einsatzbereich	Beschreibung	Materialzusammensetzung	Warenbreite	Preis pro Einheit	Hersteller Groß- / Einzelhandel
<i>Textile Flächengebilde</i> Köper 2/1 (novonic® CWF Gewebe)	Sensor/Schirmung	Oberflächenleitfähiges Gewebe in Köperbindung 2/1 Z 40x24, V olzzwirn, Flächengewicht: 160 g / m ² ± 10%	57 % PES, 20 % PA, 23 % Ag	150 cm	63 €/m	W. Zimmermann GmbH & Co. KG
Ripstopgewebe (Picasso)	Sensor/Schirmung	Tarfbündiges Ripstopgewebe zur textilen Abschirmung mit geschmeidigem Griff und Ganz; Vollflächige rundum Versiberung der Einzelfasern; Flächengewicht: 46 g / m ²	feinmetallisiertes Nylongewebe	130 cm ±2%	52 €/m ²	biologa
Charmeuse (Dali)	Sensor/Schirmung	Kettengewirk zur textilen Abschirmung, sehr flexibel und dehnbar, große Luftdurchlässigkeit durch lockere Maschen; Vollflächige rundum Versiberung der Einzelfasern; Flächengewicht: 32 g / m ²	feinmetallisiertes Nylongewirk	145 cm ±2%	47 €/m ²	biologa
Köper (offen)	Sensor	Offener Köper mit Metallfäden im Schuss; weicher textiler Charakter; Flächengewicht: 185 g / m ²	SW 85 %; 15 % ME (Annahme Ag)	> 120 cm	10 €/m	Stoffhandel Gädtke (Großhandel)
Halbwirware	"Halbleiter"	Gewebe mit leitfähigem Karomuster aus geschüttelter Metallfolie zum Schutz gegen Elektrosmog; MITF in der Kette als Zwirn, im Schuss als Garn verarbeitet; Flächengewicht: 125 g / m ²	54 % PES, 45 % CO, 1 % MTF	150 cm	/	Laufenmühle
Vlies (Rubens Light)	"Halbleiter"	Rubens Light ist ein elektrisch leitfähiges Faservlies auf Graphitbasis, dampfdiffusionsfähig, flexibel und bedingt reißfest; Flächengewicht: 50 g / m ² ± 10%	Polyestervlies, Polyacrylat, Kohlenstoff	95 cm ±2%	14 €/m ²	biologa
Maschenware (ESD-Material)	"Halbleiter"	ESD = engl. electrostatic discharge (Elektrostatische Entladung)weicher Jersey, eingearbeiteten Silberfäden in Maschenstäbenrichtung	50% CO; 47 % PES; 3 % karbonisiertes Garn	T-Shirt	29 €/T-Shirt	Uhitec-Business-Consulting,Lieferant für ESD- und Reiraumtechnik
Dobby	Isolation/Trägermaterial	Schaftegewebe in Köperbindung, fester Griff, Flächengewicht: 214 g / m ²	100 % Co	145 cm	6 €/m	Stoffhandel Gädtke (Großhandel)
Loden	Trägermaterial	Gewaktes Wollgewebe mit weichem, flauschigem Griff; Materialgewicht:	90 % SW, 10 % Kaschmir	140 cm	20 €/m	Mahler, Stoffe (Großhandel)
Ripstopgewebe	Trägermaterial	Oberstoffaminat mit PES Membran; Glatte Oberfläche und verstärkte Festigkeit durch Ripstopstruktur; Flächengewicht: 103 g / m ²	Oberstoff: 100% Nylon (PES 6.6) Laminat: 100 % PES	150 cm	/	/
<i>Textile Fäden</i> Zwirn (weich gedreht)	Sensor/Leiterbahn	Nm 42.6 / 4; Weich gedrehter Zwirn aus vier Multifilamentgarnen mit je ca. 34 Einzelfilamenten	Annahme: versilbertes Nylongarn	Kohlen	/	/
Zwirn (hart gedreht)	Sensor/Leiterbahn	Nm 20/2; Hart gedrehter zweifädiger Zwirn aus ca. 70 Filamenten je Garn	Annahme: versilbertes Nylongarn	Kohlen	/	/
<i>Weitere Materialien</i> Velostat	"Halbleiter"	Material mit hochohmigem Widerstand; Zum Schutz von elektrischen Bauteilen eingesetzt	Carbon imprägnierter polyethylen Film	/	/	z.B. 3M United Kingdom (Internetshop)
Mis ofix	Fugematerial	Klebevlies zum Verbinden zweier textiler Flächen	Trägermaterial PA	90 cm	7 €/m	Kurzwarequelle Nikolaos Apostolopoulos, Schneiderbedarf (Einzelhandel)
Klettverschluss	Verschluss	Oberflächenleitfähiges Flausch- und Hakenband; Gewicht: 0,15 oz / in ² ; Dicke: 1/8 in	versilbert	/	/	Less EMF Inc.
Spiralreibverschluss Nahgarn	Verschluss Fugematerial	Bandbreite: 25 mm und der Spiralbreite: 3 mm Nm 120	/	/	/	Internet Gütermann
			100% PES	1000 m	0,36 €/ 100 m	Gütermann

A.2 Prüfung der Scheuerfestigkeit

Tabelle 21: Ergebnisse der Scheuerfestigkeit

Prüfung der Scheuerfestigkeit					
Stofftyp	Messproben	Prüfintervall	Ergebnis während dieses Prüfintervalls	Besonderheiten	Kategorie
Köper 2/1 (novonic CWF Gewebe)	1	100 000	Prüfung abgebrochen	Ab 16 000 Scheuertouren zunehmender Faserabrieb und Ablagerung auf dem Hilfsmittel, sowie Herauslösung einzelner Filamente	A
	2	100 000	Prüfung abgebrochen		A
	3	100 000	Prüfung abgebrochen		A
	4	100 000	Prüfung abgebrochen		A
				Gesamtergebnis	100 000
				Gesamtkategorie	A
Ripstop (Picasso)	1	20 000	mehrere Fadenbrüche	Ab 30 000 Touren entsteht "fleckiges" Warenbild => helle und dunkle Stellen auf WO => Abscheuern der Versilberung; Fadenbrüche treten im Randbereich/Materialkante auf	B
	2	40 000	mehrere Fadenbrüche		A
	3	20 000	mehrere Fadenbrüche		B
	4	50 000	mehrere Fadenbrüche		A
				Gesamtergebnis	32 500
				Gesamtkategorie	B
Charmeuse (Dali)	1	25 000	viele Lochbildungen	Lochbildungen bei Probe 1 entlang des Randbereichs, Lochbildung bei Probe 2-4 mittiger	B
	2	30 000	eine Lochbildung		B
	3	30 000	eine Lochbildung		B
	4	20 000	eine Lochbildung		B
				Gesamtergebnis	26 300
				Gesamtkategorie	B
Köper (offen)	1	20 000	mehrere Fadenbrüche	Flusenbildung ab 8 000 Touren und stark zunehmend, Fadenbrüche entstehen zuerst bei Metallfäden	B
	2	18 000	mehrere Fadenbrüche		B
	3	18 000	mehrere Fadenbrüche		B
	4	16 000	mehrere Fadenbrüche		B
				Gesamtergebnis	18 000
				Gesamtkategorie	B

A.3 Prüfung der Zugfestigkeit

Tabelle 22: Ergebnisse der Zugfestigkeit

Zugfestigkeitsprüfung					
Messproben		Kettrichtung		Schussrichtung	
		Zugkraft (%)	Dehnung (%)	Zugkraft (%)	Dehnung (%)
Köper (2/1)	1	685	61	812	66
	2	697	47	815	65
	3	695	62	800	65
	4	681	62	849	69
	5	676	43	811	67
	Mittelwert	687	55	817	66
Kategorie		---		---	
Ripstop	1	171	30	183	38
	2	196	51	163	34
	3	227	34	185	36
	Material reichte nur für 3 Proben				
Mittelwert	198	38	177	36	
Kategorie		---		---	
Charmeuse	1	Nicht mit diesen Einstellungen prüfbar, da Kettenwirkware			
	2				
	3				
	4				
	5				
Mittelwert					
Kategorie		---		---	
Köper (offen)	1	316	40	367	29
	2	314	46	355	26
	3	308	40	359	26
	4	337	51	357	26
	5	340	46	367	29
	Mittelwert	323	45	361	28
Kategorie		---		---	

A.4 Oberflächenwiderstandsprüfung (unbehandelt)

Tabelle 23: Ergebnisse der Prüfung des Oberflächenwiderstands (unbehandelt)

Oberflächenwiderstandsmessung - unbehandelt -								
Messung	Köper 2/1 (novonic CWF Gewebe)	Ripstop (Picasso)	Chameus e (Dali)	Klettver schluss	Zwim (weich gedreht)	Zwim (hart gedreht)	Vlies (Rubens)	Velostat
Kette	[$\Omega/25\text{ cm}^2$]*				[Ω/m]		[$\text{k}\Omega/25\text{ cm}^2$]	
1	2,8	1,2	1,9	0,9	134	86	1,6	40
2	4,3	1,4	1,7	0,9	136	96	1,3	40
3	4,3	1,4	1,9	0,8	106	88	1,3	40
4	4,0	1,5	1,6	0,9	98	82	1,3	30
5	5,8	1,6	1,8	0,8	96	82	1,4	30
6	4,2	1,8	1,7	0,8	96	106	1,2	40
7	4,1	1,7	1,9	0,9	108	82	1,3	30
8	4,6	1,7	1,9	0,9	110	84	1,2	30
9	3,6	1,9	1,8	0,8	102	106	1,2	20
10	3,3	1,9	1,6	0,9	98	104	1,1	20
Mittelwert	4,1	1,6	1,8	0,9	108	92	1,3	32
Schufs								
1	3,9	1,6	2,0					
2	3,6	2,0	2,0					
3	3,8	2,2	1,7					
4	3,3	1,7	1,9					
5	3,3	1,4	2,0					
6	3,1	2,1	2,0					
7	3,5	1,6	2,0					
8	4,2	1,5	1,7					
9	2,9	1,9	1,9					
10	2,5	2,0	1,9					
Mittelwert	3,4	1,8	1,9					
Mittelwert gesamt	3,8	1,7	1,8					

*Gemessen bei Temp: 20° C
rel. Luftfeuchte: 52%

A.5 Oberflächenwiderstandsprüfung (behandelt)

Tabelle 24: Ergebnisse der Prüfung des Oberflächenwiderstands (behandelt)

Oberflächenwiderstandsmessung behandelt						
	Köper 2/1			Zwirn (hart gedreht)		
Messung	Gebügelt ohne Dampf	Gebügelt mit Dampf	Gewaschen	Gebügelt ohne Dampf	Gebügelt mit Dampf	Gewaschen
Kette		[Ohm/ 25 cm²]			[Ohm/ 5 cm]	
1	2,6	2,8	1,9	3,8	3,9	4,2
2	1,8	3,2	2,2	4,5	4,1	4,5
3	2,1	3,2	1,7	3,7	3,4	3,9
4	3,3	3,0	2,4	4,1	4,0	3,8
5	2,5	3,4	2,1	3,5	3,7	4,1
6	2,4	3,1	2,4	3,5	3,3	4,1
7	2,6	4,5	3,1	3,4	3,7	4,0
8	3,3	4,6	2,3	3,6	4,4	3,1
9	2,9	2,7	2,3	3,5	4,1	3,9
10	2,7	5,6	2,7	3,6	3,8	3,9
Mittelwert	2,6	3,6	2,3	3,7	3,8	4,0
Schuß						
1	2,8	5,8				
2	2,4	3,6				
3	2,8	4,1				
4	2,6	2,7				
5	2,6	3,0				
6	2,6	2,6				
7	3,1	2,5				
8	2,7	2,4				
9	3,2	2,3				
10	2,7	3,9				
Mittelwert	2,8	3,3			[Ohm/ 100 cm]	
Mittelwert ges	2,7	3,5		74	77	79

A.6 Kapazitätsprüfung

Tabelle 25: Kapazitätsprüfung 1

Kapazitätsprüfung																				
Elektrodengröße: 100 cm ²										Elektronik: CapSense-Toolkit										
Körper 2/1 (novonic CWF Gewebe)										Ripstop (Picasso)										
	Probe 1		Probe 2		Probe 3		Ø Messwert			Probe 1		Probe 2		Probe 3		Ø Messwert				
Ausgangs-Messwert bei 100 cm	308,2		291,9		294,8						349,9		359,3		357,5					
Erste detektierbare Annäherung [cm]	16,7	% zur Basis	14,6	% zur Basis	14,9	% zur Basis	15,4	% zur Basis	σ Standardabweichung		17,3	% zur Basis	17,5	% zur Basis	19,5	% zur Basis	18,1	% zur Basis	σ Standardabweichung	
Messabstand Elektrode und Masse [cm]																				
28																				
26																				
24																				
22																				
20																				
18																				
16	309										351	0	360	0	369	0	214	0	5	
14	310	0	292	0	295	0	299	0	10		351	0	361	0	360	0	215	0	6	
12	310	0	293	0	296	0	300	0	9		352	0	363	1	362	1	216	1	6	
10	313	1	296	2	299	1	303	1	9		356	2	367	2	366	2	218	2	6	
8	318	3	302	3	305	3	308	3	9		362	3	373	4	372	3	223	4	6	
6	331	7	315	8	318	8	321	7	9		374	7	387	8	385	7	232	8	7	
4	361	16	348	19	345	17	351	18	8		406	16	421	17	418	16	255	19	8	
2	476	54	496	70	463	57	478	60	16		512	46	532	48	517	44	331	55	10	

Tabelle 26: Kapazitätsprüfung 2

Kapazitätsprüfung																				
Elektrodengröße: 100 cm ²										Elektronik: CapSense-Toolkit										
Charmeuse (Dali)										Körper (offen)										
	Probe 1		Probe 2		Probe 3		Ø Messwert			Probe 1		Probe 2		Probe 3		Ø Messwert				
Ausgangs-Messwert bei 100 cm	403,3		396,3		382,9						550,8		522,1		508,9					
Erste detektierbare Annäherung [cm]	17,2	% zur Basis	16,8	% zur Basis	18,6	% zur Basis	18	% zur Basis	σ Standardabweichung		16,4	% zur Basis	23,5	% zur Basis	29,0	% zur Basis	23	% zur Basis	σ Standardabweichung	
Messabstand Elektrode und Masse [cm]																				
28															509					
26															509					
24															510					
22															511					
20															511					
18															511					
16	404	0	397	0	384	0	395	0	10		551	0	527	0	512	0	530	0	19	
14	405	0	399	0	386	0	397	0	10		553	1	528	0	513	0	531	0	21	
12	408	1	402	1	388	1	399	1	10		557	1	529	0	513	0	533	1	22	
10	413	2	406	2	392	2	404	2	11		568	3	529	0	513	0	537	1	28	
8	422	4	416	5	400	4	412	4	11		568	3	530	1	514	0	538	1	28	
6	436	8	433	9	417	8	428	8	10		569	3	533	1	516	1	539	2	27	
4	465	15	460	16	448	17	458	16	8		578	5	539	2	523	2	547	3	29	
2	468	16	565	42	555	44	529	34	53		628	14	569	8	554	8	583	10	40	

Tabelle 27: Kapazitätsprüfung 3

Kapazitätsprüfung														
Elektronik: CapSense-Toolkit; Material: leitfähigem Körper 211 (novonic CWF Gewebe)														
Elektrodengröße: 200 cm ² 14,1 cm x 14,1 cm														
Ausgangs-Messwert bei 100 cm Erste detektierbare Annäherung [cm]	Probe 1			Probe 2			Probe 3			Elektrodengröße: 306 cm ² Originalgröße innere Elektrode 9 cm x 34 cm			σ Standardabweichung	
	Ø Messwert	% zur Basis	σ Standardabweichung	Ø Messwert	% zur Basis	σ Standardabweichung	Ø Messwert	% zur Basis	σ Standardabweichung	Ø Messwert	% zur Basis	σ Standardabweichung		
Messabstand Elektrode und Masse [cm]	518,4			523,4			641,7			643,0			640,2	
90	36,9			34,9			47,0			33,6			41,6	
80														
70														
60														
50														
45														
40							643							
35	519	0	534	523	0	518	644						427	0
30	519	0	534	524	0	519	645	0	644	0	638	0	642	0
25	519	0	535	525	0	520	646	0	645	0	638	0	643	0
20	521	0	536	526	0	521	649	1	649	1	642	1	646	1
18	521	1	537	527	1	521	651	1	651	1	643	1	648	1
16	523	1	539	528	1	523	653	1	652	1	644	1	650	1
14	524	1	541	530	1	524	666	3	666	3	647	1	659	3
12	527	2	544	533	2	527	672	4	671	4	650	2	665	4
10	532	3	550	538	3	532	682	6	682	6	656	3	673	5
8	540	4	549	543	4	540	701	9	700	9	666	4	689	7
6	568	8	576	564	8	557	731	14	733	14	688	8	718	12
4	591	14	610	598	14	591	794	23	802	25	734	15	777	21
2	684	32	699	685	31	671	942	46	1006	56	817	28	922	44

Tabelle 28: Kapazitätsprüfung 4

Elektronik: Sensor aus der Sicherheitstechnik; Material: leitfähigem Körper 2/1 (novonic CWF Gewebe)									
Elektrodengröße: 3640 cm ² Originalgröße äußere Elektrode 91 cm x 40 cm									
	Probe 1		Probe 2		Probe 3		Ø Messwert		
Ausgangs-Messwert bei 100 cm	12813		12897		12907		12872		
Erste detektierbare Annäherung [cm]	92,0	% zur Basis	92	% zur Basis	87	% zur Basis	90	% zur Basis	σ Standardabweichung
Messabstand Elektrode und Masse [cm]									
90	12812	0,00	12896	0,00			12854	0,00	59
80	12811	0,01	12896	0,00	12906	0,00	12871	0,00	52
70	12810	0,02	12894	0,01	12905	0,01	12870	0,01	52
60	12809	0,03	12893	0,02	12903	0,02	12868	0,02	52
50	12807	0,04	12892	0,03	12902	0,03	12867	0,03	52
45	/		/		/				
40	12804	0,06	12889	0,06	12899	0,06	12864	0,05	52
35	/		/		/				
30	12789	0,18	12883	0,10	12893	0,10	12855	0,12	57
25	/		/		/				
20	12788	0,19	12870	0,20	12881	0,19	12846	0,19	51
18	12784	0,22	12867	0,23	12877	0,22	12843	0,22	51
16	12778	0,27	12862	0,27	12872	0,26	12837	0,26	51
14	12773	0,30	12855	0,32	12865	0,31	12831	0,31	51
12	12765	0,37	12847	0,38	12857	0,38	12823	0,37	50
10	12754	0,45	12836	0,47	12845	0,47	12812	0,46	50
8	12737	0,59	12820	0,59	12829	0,60	12795	0,59	51
6	12712	0,78	12795	0,79	12803	0,79	12770	0,78	50
4	12660	1,19	12742	1,19	12756	1,17	12719	1,18	52
2	12508	2,38	12608	2,24	12613	2,27	12576	2,29	59

A.7 Belastungsstufen bei Plusea

Tabelle 29: Belastungsstufen lose Sensorfäden

Belastungsstufen eines Kraftsensorknopfes mit am Kreuzungspunkt lose übereinander liegenden Sensorfäden			
Belastung [kPa]	Belasten*	1 min	2 min
0	1010		
12	114	100	97
12	183	148	145
12	151	129	125
Mittelwert	149	126	122
relative Standard - abweichung in %	23	19	20
24	85	76	75
24	138	114	111
24	103	88	87
Mittelwert	109	93	91
relative Standard - abweichung in %	25	21	20
36	69	64	62
36	87	77	76
36	95	83	81
Mittelwert	84	75	73
relative Standard - abweichung in %	16	13	13
*Vor jedem erneuten Belasten erfolgte eine komplette Entlastung und ein Ursprungswert von 1010 wurde erzielt.			
Nach 2 Minuten schwankt der Wert um +/- 2			

Tabelle 30: Belastungsstufen Musterstickerei(übergestept) kurzer Sensorfaden

Belastungsstufen eines Kraftsensorpunktes bei Zick-Zack Musterstickerei durchgängig übergestept (kurzer Sensorfaden)			
Belastung [kPa]	Belasten*	1 min	2 min
0	1010		
12	862	858	857
12	780	747	754
12	760	732	731
Mittelwert	801	779	781
relative Standard - abweichung in %	7	9	9
24	597	517	505
24	620	578	565
24	555	534	530
Mittelwert	591	543	533
relative Standard - abweichung in %	6	6	6
36	484	449	441
36	401	370	362
36	466	417	412
Mittelwert	450	412	405
relative Standard - abweichung in %	10	10	10
*Vor jedem erneuten Belasten erfolgte eine komplette Entlastung und ein Ursprungswert von 1010 wurde erzielt.			
Nach 2 Minuten schwankt der Wert um +/- 2			

Tabelle 31: Belastungsstufen Musterstickerei(übergestept) langer Sensorfaden (Prototyp)

Belastungsstufen eines Kraftsensorkontaktes bei Zick-Zack Musterstickerei durchgängig übergestept (langer Sensorfaden) = Prototyp			
Belastung [kPa]	Belasten*	1 min	2 min
0	1010		
12	330	292	289
12	357	329	324
12	345	319	315
Mittelwert	344	313	309
relative Standard - abweichung in %	4	6	6
24	215	196	194
24	219	206	202
24	231	216	210
Mittelwert	222	206	202
relative Standard - abweichung in %	4	5	4
36	162	150	145
36	165	147	144
36	182	169	166
Mittelwert	170	155	152
relative Standard - abweichung in %	6	8	8
*Vor jedem erneuten Belasten erfolgte eine komplette Entlastung und ein Ursprungswert von 1010 wurde erzielt.			
Nach 2 Minuten schwankt der Wert um +/- 2			

A.8 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Langform
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
et.al.	et altera
ggf.	gegebenenfalls
Hrsg.	Herausgeber
i.d.R.	in der Regel
o.g.	oben genannte(n)
o.J.	ohne Jahresangabe
S.	Seite(n)
sog.	sogenannte(n)
u.a.	unter anderem
u.U.	unter Umständen
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

Abbildungsverzeichnis

1	Intelligenzhierarchie nach Newnham	3
2	Modell des Living Place mit Wohn- und Entwicklungsbereich	5
3	Der Wohnbereich im Living Place	5
4	Konstruktion des Wealthy-Prototypen	9
5	Elektex Funktionsprinzip	10
6	Wirkungsweise der Sensorfäden	11
7	Sensorverteilung bei Insitex	12
8	Aufbau des Sensors	13
9	CapSense Toolkit (Quelle: www.capsense.org)	18
10	Arduino Microcontroller (Quelle: http://www.arduino.cc)	19
	10.1 Duemilanove	19
	10.2 Mega	19
11	Bilder der Software	20
	11.1 3D-Modell des Sofas	20
	11.2 Messkurve	20
12	Martindale-Versuch	24
	12.1 Martindale-Gerät	24
	12.2 Flusenablagerung bei der Scheuerprüfung	24
13	Kraftdehnungskurve	26
14	Messgrößenaufnehmer für den Oberflächenwiderstand	29
15	Wirkungsweise eines kapazitiven Sensors	32
16	Aufbau des Messgeräts zur Ermittlung der Kapazität	32
	16.1 (a)	32
	16.2 (b)	32
	16.3 (c)	32
	16.4 (d)	32
17	Erste detektierbare Annäherung bei verschiedenen Materialien und Elektrodengrößen	34
18	Veränderung der Messwerte bei Annäherung	34
	18.1	34
	18.2	34
19	Vordere Elektrode und Schirmung	39
20	Muster verschiedener Stichtypen beim Körper (offen)	40
21	Minimaler Abstand zwischen zwei Elektroden	41
22	Innere Elektrode (Streifen)	42
23	Kreuzung von zwei länglichen Elektroden	42
24	Miniatur-Kissenprototyp	44
25	Nahtschaubilder der Verarbeitung von Schirmung & Elektrode	45
	25.1 Mit kurzer Naht	45
	25.2 Mit durchgehender Naht	45
26	Nahtschaubilder der Verarbeitung von Schirmung & Elektrode 2	46
	26.1 Verarbeitung entsprechend des Prototyps	46
	26.2 Verarbeitung für flauschige Gewebe	46
27	Ausbreitung des elektrischen Feldes	47

28	Aufbau der Plusea Matrix	49
29	Plusea Prototyp und Anschluss	49
	29.1 Plusea Prototyp	49
	29.2 Anschluss an den Arduino	49
30	Sensor-Matrix nach Plusea	50
31	Gestickte Sensorfäden mit Velostat-Zwischenlage	53
32	Mäanderförmige Stickerei	55
	32.1 Stickvorlage und fertige Stickerei	55
	32.2 Mäanderförmige Stickerei mit Zwischenlage	55
33	Gestickte Spiralform	56
34	Gecrimpter Anschluss und Übergang zum Sensor	58
35	Anschlusselement mit Klettverschluss und Sensor	59
36	Konstruktion des kapazitiven Sensors	62
37	Innere Elektrode mit Klettverbindungen und Leiterbahnen	63
38	Graphische Darstellung der Sensorreaktion	65
	38.1 Innere Elektrode	65
	38.2 Vordere Elektrode	65
39	Schnittbild des Sitzkissens	65
40	Aufgesteppte Sensorpunkte (Warenunterseite)	66
42	Anschlusselement des resistiven Sensors 1	67
41	Klett-Anschlusselement des Pluspols	67
43	Sensorreaktion, visualisiert über das 3D Sofamodell	69
	43.1 Leichte Person sitzt vorne rechts	69
	43.2 Person mit mittlerem Gewicht sitzt hinten links	69
	43.3 Schwere Person sitzt hinten links, mittelschwere Person sitzt vorne rechts	69

Tabellenverzeichnis

1	Materialübersicht	17
2	Übersicht der durchgeführten physikalischen Prüfungen	22
3	Zuordnung der Prüfungen zu den Materialien	22
4	Kategorien zur Bewertung der Scheuerbeständigkeit	23
5	Bewertungsintervalle für die Scheuerprüfung	25
6	Prüfergebnisse der Scheuerbeständigkeit von Gewebe und Gewirk	25
7	Kategorien der Zugprüfung	27
8	Ergebnisreihe der durchgeführten Zugversuche nach EN ISO 13934-1	28
9	Oberflächenwiderstandsmessung	30
10	Fixiertest mit Einlagen	35
11	Fixiertest mit Aufbügelbändern	36
12	Übersicht der Prüfungsergebnisse	37
13	Stichtypen für die Applikation eines leitfähigen Zwirns	39
14	Belastungsstufen eines resistiven Kraftsensorkontaktes	51
15	Ergebnisse bei unterschiedlichen Belastungsstufen	54
16	Anforderungen an den Prototypen	61
17	Ergebnisse unterschiedlicher Belastungsstufen des Sensors	68
18	Sensorische Fähigkeiten der Sensortypen	70
20	Materialübersicht	79
21	Ergebnisse der Scheuerfestigkeit	80
22	Ergebnisse der Zugfestigkeit	81
23	Ergebnisse der Prüfung des Oberflächenwiderstands (unbehandelt)	82
24	Ergebnisse der Prüfung des Oberflächenwiderstands (behandelt)	83
25	Kapazitätsprüfung 1	84
26	Kapazitätsprüfung 2	84
27	Kapazitätsprüfung 3	85
28	Kapazitätsprüfung 4	86
29	Belastungsstufen lose Sensorfäden	87
30	Belastungsstufen Musterstickerei(übergestept) kurzer Sensorfaden	88
31	Belastungsstufen Musterstickerei(übergestept) langer Sensorfaden (Prototyp)	89

Literatur

- [Bluth 2007] BLUTH, Jonas: Modellierung und Realisierung eines digitalen Trägerfrequenzmesssystems zur Messung von kapazitiven Sensoren im Umfeld einer Ultra-präzisionsdrehmaschine / Universität Kaiserslautern. URL <http://kluedo.ub.uni-kl.de/volltexte/2007/2066/>, 2007. – Forschungsbericht. [Dissertation]
- [Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie 2010] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE: *next generation media - vernetzte Arbeits- und Lebenswelten*. 2010. – URL <http://www.nextgenerationmedia.de/de/20.php>. – [Online; Stand 02. Dezember 2010]
- [eric at talk2myshirt 2006] ERIC AT TALK2MYSHIRT: *The working principle of Elek-Tex*. 2006. – URL <http://www.talk2myshirt.com/blog/archives/82>. – [Online; Stand 26. Dezember 2010]
- [FoamWorld GmbH & Co. KG 2010] FOAMWORLD GMBH & CO. KG: *Schaumstofflexikon*. 2010. – URL <http://www.saarschaum.de/index.php>. – [Online; Stand 25. Dezember 2010]
- [Fraden 2004] FRADEN, Jacob: *Handbook of modern Sensors - Physics, Design, and Application*. Auflage 3. Springer-Verlag New York, 2004. – ISBN 0-387-00750-4
- [FZI, Forschungszentrum Informatik 2009] FZI, FORSCHUNGSZENTRUM INFORMATIK: *INSITEX: Aktive Insassen Sicherheit durch Intelligente Technische Textilien*. 2009. – URL http://www.insitex.de/index.php?option=com_content&view=article&id=96&Itemid=149. – [Online; Stand 10. Dezember 2010]
- [Gundolf S Freyermuth 2002] GUNDOLF S FREYERMUTH: *Der große Kommunikator*. 2002. – [In:C't 15/2002. o.A. DVD 1990-2004.Hannover 2002]
- [Kirchdörfer u. a. 2003] KIRCHDÖRFER, Elfriede ; MAHR-ERHARD, Angela ; RUPP, Martin: *Bekleidungstechnische Schriftenreihe*. Auflage 1. Eigenverlag der Forschungsgemeinschaft Bekleidungsindustrie e.V., 2003. – ISBN 37949-0699 3
- [LPHH 2010] LPHH: *Living Place Hamburg*. 2010. – URL <http://livingplace.informatik.haw-hamburg.de/blog/>. – [Online; Stand 02. Dezember 2010]
- [Newnham, Prof Robert E. 2005] NEWNHAM, PROF ROBERT E.: *Pennsylvania State University, Materials Research Laboratory*. 2005. – URL <http://www.personal.psu.edu/staff/r/e/ren1/>. – [Online; Stand 04. März 2011]
- [o. Hrsg. 2005a] O. HRSG.: *Dressed Smart: the Wearable Health System*. 2005. – URL http://medgadget.com/archives/2005/04/dressed_smart_t.html. – [Online; Stand 15. Dezember 2010]

- [o. Hrsg. 2005b] O. HRSG.: *Project Presentation Plan*. 2005. – URL http://www.wealthy-ist.com/uploads/wealthy_d3__project_presentation.pdf. – [Online; Stand 15. Dezember 2010]
- [Pan u. a. 2003] PAN, Z. ; CUI, H. ; ZHU, Zhenqi: A flexible full-body tactile sensor of low cost and minimal connections. In: *Systems, Man and Cybernetics, 2003. IEEE International Conference on* Bd. 3, 2003, S. 2368 – 2373 vol.3. – ISSN 1062-922X
- [Raphael Wimmer 2007] RAPHAEL WIMMER, Sebastian Boring Albrecht S.: A Capacitive Sensing Toolkit for Pervasive Activity Detection and Recognition. In: *Proceedings of the Fifth Annual IEEE Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, März 2007
- [Reumann 2000] REUMANN, R.-D.: *Prüfverfahren in der Textil- und Bekleidungsindustrie*. Auflage 1. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, 2000. – ISBN 3-540-66147-6
- [Vargas 2009] VARGAS, Sina C.: *Smart Clothes - Textilien mit Elektronik. Was bietet der Markt der Intelligenten Bekleidung*. Auflage 1. Diplomica Verlag GmbH, 2009. – ISBN 978-3836672306
- [VDI/VDE Innovation + Technik GmbH 2009a] VDI/VDE INNOVATION + TECHNIK GMBH: *Entwicklung eines textilintegrierten MST-Sensor-Systems zur Erkennung von Sitzbelegung und Sitzposition in Kraftfahrzeugen - SeatSen*. 2009. – URL http://www.mstonline.de/foerderung/projektliste/printable_pdf?vb_nr=V3TEX006. – [Online; Stand 09. Dezember 2010]
- [VDI/VDE Innovation + Technik GmbH 2009b] VDI/VDE INNOVATION + TECHNIK GMBH: *Entwicklung eines textilintegrierten MST-Sensor-Systems zur Erkennung von Sitzbelegung und Sitzposition in Kraftfahrzeugen - SeatSen*. 2009. – URL http://www.mstonline.de/mikrosystemtechnik/smart-textiles/medien/5-SeatSen_Berlin_09_07_2009-freigegeben-6.pdf. – [Online; Stand 10. Dezember 2010]

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen habe ich unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Hamburg, 10. März 2011 Ann-Kathrin Weiss