

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

SACHBERICHT ZUM VERWENDUNGSNACHWEIS

Vorhabentitel:	Modulare sensorische Oberflächen für die Robotik unter rauen Umgebungsbedingungen
Kurztitel:	Bionic RoboSkin
Förderkennzeichen:	16ES0915
Teilvorhaben:	Entwicklung von modularen 3D-Textilstrukturen für Sensorslemente und Verbindungsstrukturen
Zuwendungsempfänger:	Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e. V.
Laufzeit des Vorhabens:	01.02.2019 bis 31.10.2022

Greiz, 27.04.2023

Heidi Schaarschmidt

Ort, Datum

Projektleiter

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 16ES0915 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Danksagung

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Förderung des Projektes Bionic RoboSkin, Förderkennzeichen 16ES0915, die als Zuwendung aus dem Bundeshaushalt erfolgte.

GEFÖRDERT VOM



Wir danken dem Projektträger VDI/VDE Innovation + Technik GmbH als Projektträger des BMBF für die kooperative Zusammenarbeit und Betreuung der Arbeiten. Insbesondere möchten wir Lars Lindstaedt und Josephine Schuppang für ihre kontinuierliche, engagierte und lösungsorientierte Unterstützung danken.

VDI|VDE|IT

Inhaltsverzeichnis

I	Kurzbericht	1
I.1	Ursprüngliche Aufgabenstellung und Darstellung der Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand, an den angeknüpft wurde	1
I.2	Ablauf des Vorhabens	1
I.3	Wesentliche Ergebnisse.....	2
I.3.1	Beschreibung der wichtigsten Teilergebnisse	2
I.3.2	Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen und internen/externen Stellen bzgl. Vergabe	3
II	Eingehende Darstellungen	4
II.1	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	4
II.1.1	Spezifikation und Anwendungsszenarien	4
II.1.1.1	Spezifikation der Anforderungen an die Sensoren bzw. das Sensornetzwerk..	4
II.1.1.2	Spezifikation der Anforderungen an Textile Sensorhaut.....	4
II.1.2	Konzeptentwicklung / Detaillierung der geplanten Arbeiten.....	4
II.1.3	Robuste AVT für Sensormodule / Sensormodulintegration	8
II.1.3.1	Realisierung der Schnittstelle Sensorträgerrahmen zu textiler Leiterbahn	8
II.1.4	Modulare 3D-Textilträgertechnologie	9
II.1.4.1	Auswahl, Charakterisierung und Modifikation von Fadenmaterialien für die Verarbeitung mit verschiedenen Technologien (Weben, Wirken)	9
II.1.4.2	Durchführung von Verarbeitungstests mittels geeigneter textiltechnologischer Verfahren.....	10
II.1.4.3	Textiles Substrat als Träger für die Sensormodule	11
II.1.4.3.1	Wirkprinzip für die Entwicklung und Herstellung von 3D-Kettengewirken ..	11
II.1.4.3.2	Anpassung der Textilmaschinen an die einzusetzenden Fadenmaterialien	14
II.1.4.3.3	Herstellung der 3D-Gewirkestrukturen für die Roboterhaut	15
II.1.4.4	Ausrüstung für Unterwasseranwendungen	17
II.1.4.4.1	Veredlung	17
II.1.4.4.2	Ausrüstung und Beschichtung.....	18
II.1.4.5	Auslegung der Textil-elektrischen Leiter	22
II.1.4.6	Erarbeitung von Funktionskombinationen im Textil	23
II.1.4.6.1	Webtechnische Einarbeitung elektrisch leitfähiger Strukturen	24
II.1.4.6.2	Wirktechnische Einarbeitung elektrisch leitfähiger Strukturen.....	25
II.1.4.6.3	Sticktechnische Einarbeitung elektrisch leitfähiger Strukturen	27
II.1.4.7	Konfektionsbetrachtungen	30

II.1.5	Aufbau der Bionischen Sensorhaut und Integration in die Anwendungsplattformen.....	33
II.1.6	Zuverlässigkeitssbewertung.....	38
II.1.6.1	Textilphysikalische Charakterisierung.....	38
II.1.6.2	Elektrische Tests / Funktionstests Einzelemente	39
II.1.6.3	Elektrische Tests – Funktionstests Einzelmodule	40
II.2	Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	43
II.2.1	Vergabe von Aufträgen	43
II.2.1.1	Umrüstung einer Rechts/Rechts-Doppelraschelmaschine RD 7 von mechanischer auf elektronische/sequentielle Steuerung	43
II.2.1.2	Unterauftrag Flächenherstellung – Wirkerei.....	43
II.2.1.3	Unterauftrag – Veredlung	44
II.2.1.4	Unterauftrag – Konfektion	44
II.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	44
II.4	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	45
II.5	Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	46
II.6	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses.....	46
II.6.1	Veröffentlichungen in der Vorhabenlaufzeit	46
II.6.2	Geplante Veröffentlichungen nach Ende des Vorhabens	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Auswertung der Beschichtungsversuche für wasserabweisende Beschichtungen (einseitig auf 3D-Kettengewirke	8
Tabelle 2:	Textilphysikalische Parameter ausgewählter Fadenmaterialien, verarbeitbar auf Doppelraschel-Maschine	10
Tabelle 3:	Auswahl der Bindungsvarianten	13
Tabelle 4:	Darstellung der im industriellen Maßstab hergestellten 3D-Kettengewirke.....	15
Tabelle 5:	Fixierparameter für die entwickelten Abstandsgewirke	17
Tabelle 6:	Auswertung Muldenversuch: Prüfung der Wasserdurchlässigkeit Träger: AGW 120200 Zeitdauer konstant = Ermittlung der durchgelaufenen Wassermenge Wassermenge Mulde: 200 g	20
Tabelle 7:	Darstellung der Muldenversuche an zwei Beispielvarianten.....	21
Tabelle 8:	Bewertungsschema	22
Tabelle 9:	Auswahl elektrischer Leitungen.....	23
Tabelle 10:	Textilbasierte gewebte Bus- und Datenkabel.....	24

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersicht über Kontaktierungsverfahren von Elektronikmodulen in Textil	5
Abbildung 2:	Aufbau der textilen Außenhaut.....	5

Abbildung 3: Einlagiger Bezug - Stoffbruch an der Flügelkante vorn	6
Abbildung 4: Konstruktionszeichnung für Variante 1 und Verstärkungsteil (gelb)	6
Abbildung 5: Gefertigte Bezüge in Variante 2a und 2b	7
Abbildung 6: Aufgestickte Zuleitungen auf unterschiedlichen textilen Trägern.....	7
Abbildung 7: Elektronikmodul mit integrierten Druckknöpfen zur Kontaktierung auf Textilien.....	9
Abbildung 8: a) Angestickte FSD™ mit LED bestückt	
b) Angestickte Drucksensoren im Projekt „BMBF MST 16SV3457 SeatSen“	9
Abbildung 9: Querschnitt Gewebe, mikroskopische Aufnahme mit 50-facher Vergrößerung.....	11
Abbildung 10: Querschnitt Gewirke, mikroskopische Aufnahme mit 50-facher Vergrößerung	11
Abbildung 11: Draufsicht Gewebe, mikroskopische Aufnahme mit 30-facher Vergrößerung	11
Abbildung 12: Draufsicht Gewirke, mikroskopische Aufnahme mit 30-facher Vergrößerung	11
Abbildung 13: Rechts/Rechts-Doppelraschelmaschine RD 7 im Technikum des TITV Greiz	11
Abbildung 14: Wirkelemente einer Rechts/Rechts-Doppelraschelmaschine	12
Abbildung 15: Darstellung der Versatzbewegung (Bewegung der Nadeln bei Maschenbildung).....	12
Abbildung 16: Herkömmliche Steuerung mit Steuerkette der RD 7	14
Abbildung 17: Umrüstung auf sequentielle Steuerung der RD 7	14
Abbildung 18: Schematische Darstellung zur Konfektion der Innenhaut bei als Stehfaden eingebrachten Zuleitungen der Konnektorboards über eine Warenbreite im Industriemaßstab der 3D-Kettengewirke von 63“	15
Abbildung 19: Testszenario des Mantas mit textiler Außenhaut im Wasserbecken	16
Abbildung 20: „Anprobe“ der textilen Außenhaut	16
Abbildung 21: Handdehnungsversuche des Abstandsgewirkes, Art. V 521200	16
Abbildung 22: Finale Version der Außenhaut, Art. V 521200	17
Abbildung 23: Spann-Trocken-Fixier-Anlage der Fa. Werner Mathis AG	17
Abbildung 24: Beispiele für perforierte Folien zur Kaschierung	
a) Lochmuster, Ø 1 mm; b) Schlitze, 2 mm hoch, 4 mm lang	19
Abbildung 25: Wassertropfentest an laserperforierter Kaschierung auf 3D-Kettengewirke (Vorversuch zum Muldentest).....	19
Abbildung 26: Schematische Zeichnung zum Aufbau des Muldenversuches	20
Abbildung 27: Schnittteilgezielte Laserstrukturierung	22
Abbildung 28: Ausgewählte Leiterstrukturen.....	23
Abbildung 29: Abrollgatter	25
Abbildung 30: Vermischte elektrische Leitung im 3D-Kettengewirke	26
Abbildung 31: Verlegte isolierte, elektrische Leitung im 3D-Kettengewirke	26
Abbildung 32: Leitfähig aufgeklebtes Kontaktierungsband auf der 3D-Kettengewirkestruktur	26
Abbildung 33: Funktionsprinzip – Ansticken im 3-Faden-System.....	27
Abbildung 34: Verlegeeinheit Fa. TAJIMA GmbH Abbildung 35: Detailansicht der Verlegeeinheit... <td>28</td>	28
Abbildung 36: Soutagefaden mit Zick-Zack-Stich	28
Abbildung 37: Mehrkopfstickmaschine Fa. TAJIMA GmbH	29
Abbildung 38: Verlegung unterschiedlicher Materialien bei gleichen Stichabstand und Mäanderauslenkung a) ELITEX® I; b) Drahtmaterial.....	29
Abbildung 39: Verlegung Drahtmaterial mit gleichen Stichabstand von 0,5 mm und unterschiedlicher Mäanderauslenkung a) 5 mm und b) 10 mm	30
Abbildung 40: CAD-gestützt Zeichnung – Punchdatei für Sensorspule.....	30
Abbildung 41: Nahtvarianten	31
Abbildung 42: Beispiel einer 5-Faden-Sicherheitsnaht bestehend aus Doppelkettenstich und.....	32
Abbildung 43: Schematische Darstellung der Stichtypen (Fachwissen Bekleidung, 1993, S. 163)	32
Abbildung 44: Nahtbild nach Ultraschallschweißen mit verschiedenen Ambossrädern	32
Abbildung 45: Theoretische Betrachtung zur Lage der Elektronikmodule a) am Originalmodell; b) Übertragung auf ein Schnittteil	33
Abbildung 46: Auslegung der Antennenspule für das Georadar für erste Testzwecke bei Projektpartner Sensorik Bayern GmbH.....	33
Abbildung 47: CAD-gestützte Zeichnung – Punchdatei des Kabelbaumes	34

Abbildung 48: Gestickter Kabelbaum, erste Muster	34
Abbildung 49: Schematische Zeichnung zur Anordnung der Funktionselemente auf der Innenhaut, Unterseite links, Oberseite rechts	34
Abbildung 50: Designvarianten zur Umsetzung der kapazitiven Berührungssensoren	34
Abbildung 51: Gerade Zuführung der Leiterbahn zum Elektronikmodul	35
Abbildung 52: Bogenförmige Verlegung der Leitungen, dies ist noch nicht ausreichend und der zur Verfügung stehende Platz auf dem gesamten Flügel zu gering	35
Abbildung 53: Verlegung der Leiterbahn im Winkel von ca. 90 ° zum Elektronikmodul	35
Abbildung 54: Teilbereiche der funktionellen Innenhaut a) Unterseite; b) Oberseite mit textilem Kabelbaum und kapazitiven Berührungssensoren.....	35
Abbildung 55: Detaildarstellung des Stickprozesses	35
Abbildung 56: Kontaktierung des Konnektorboards.....	36
Abbildung 57: Test der funktionalisierten Roboterhaut a) im Wasserbecken, b) „Passformkontrolle“ zur Lage der Funktionsmodule	36
Abbildung 58: Designvarianten für Funktionselement Anwendungsszenario Dachs	36
Abbildung 59: Finale Roboterhaut Manta (Quelle: Fa. EvoLogics, Berlin) a) Innenhaut; b) Modulrahmen mit Konnektorboards; c) Außenhaut.....	37
Abbildung 60: Finale Roboterhaut Dachs.....	37
Abbildung 61: Darstellung der Maßänderung des 3D-Kettengewirkes 120200 im Süßwasser und im Salzwasser	39
Abbildung 62: links: Becherglas mit einer isolierten, elektrischen Leiterprobe rechts: Wärmelagerung der Leiterproben im Memmert Universalofen UF110	40
Abbildung 63: Drahtprobe bei angelegter Prüfspannung in der Phenolphthalein Lösung	40
Abbildung 64: Darstellung der Flexomat-Prüfung mit eingespanntem Prüfling (jeweils links und rechts befindet sich ein Aktuator-Motor)	41
Abbildung 65: Knickbruchtest mit eingespanntem Prüfling	41
Abbildung 66: Flexomat mit eingespanntem Prüfling.....	42
Abbildung 67: Martindale-Scheuerprüfgerät.....	42

I Kurzbericht

I.1 Ursprüngliche Aufgabenstellung und Darstellung der Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand, an den angeknüpft wurde

Im Projekt wird eine Roboterplattform entwickelt, die durch ihre neuartige flexible bionische 3D-Sensorhaut („Bionic RoboSkin“) (ähnlich der Haut des Menschen) fähig ist, sich autonom in ihrem jeweiligen Umfeld zurechtzufinden und Explorations- und Serviceaufgaben auch unter rauen Umgebungsbedingungen selbsttätig erfüllen zu können. Ein dreidimensionales Textil dient als Integrationsplattform, die die geforderten Aufgaben wie zum Beispiel die Datenkommunikation und Bauteilaufnahme ermöglicht. Der modulare Aufbau des textilen Systems ermöglicht eine einfache Anpassung für unterschiedliche Robotikanwendungen. Insbesondere für Gebiete, welche für den Menschen nur schwer erreichbar beziehungsweise zu gefährlich, oder in Bereichen mit rauen Umgebungsbedingungen, in denen bisherige Technologien nur begrenzt einsatzfähig sind, werden die neuen teilautonomen Robotiklösungen „Manta“ und „Dachs“ entwickelt. Die „Bionic RoboSkin“ ist eine flexible Technologielösung, die unabhängig von der Beschaffenheit der Umgebung zur Navigation und Exploration unter Wasser und zu Land zum Einsatz kommen kann.

Das TITV Greiz liefert technisches Know-how für marktrelevante Entwicklungen aus dem Bereich leitfähiger und funktionalisierter Textilien und für Smart Textiles.

Die Entwicklung elektronischer und technischer Textilien nach Kundenspezifikation ist ein Kernschwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des TITV Greiz. Dafür werden neue Materialien von textilen, hochleitfähigen und flexiblen Materialien bis hin zu Flächenwaren entwickelt oder verarbeitet, die in Prototypen für die Forschungs- und Industriepartner erprobt werden. Im Rahmen der Flächenherstellung und deren Funktionalisierung sind eine Reihe an Forschungsprojekten bearbeitet worden bzw. werden bearbeitet.¹

Der Einsatz unterschiedlicher textiltechnologischer Verfahren, ermöglicht eine individuelle angepasste Konzipierung, Fertigung und Weiterentwicklung kundenspezifischer Muster.

I.2 Ablauf des Vorhabens

Der Arbeitsplan basiert auf acht ineinandergrifenden Arbeitspaketen. Im ersten Schritt wird von allen Projektpartnern gemeinsam die Spezifikation des Gesamtsystems erarbeitet. Darauf aufbauend werden von und mit den jeweils beteiligten Verbundpartnern Lösungen zu den Roboterplattformen, AVT Technik, zu intelligenten Textilien und nicht zuletzt zu den einzusetzenden Sensoriken entwickelt. Folgend werden die entwickelten Technologien zu Anwendungsplattformen zusammengefügt und – darauf zugeschnitten – Sensorfusionsalgorithmen integriert. Abschließend werden die Roboter auf ihre Zuverlässigkeit hin im Feld getestet, optimiert und validiert. Das Projekt schließt mit der Validierung der Gesamtprojektergebnisse.

Die Arbeiten des TITV Greiz sind in 6 Arbeitspaketen verankert. Die Phasen und Arbeitspakte selbst sind aufeinander aufbauend. Das Teilprojekt des TITV Greiz konzentriert sich auf die Entwicklung und Herstellung von 3D-Textilien, die Integration von leitfähigen Strukturen und Sensormodulen in textile Flächengebilde sowie mit Prüfungen für den Gebrauch und die Zuverlässigkeit der textilintegrierten Elektronik und Sensorik.

In regelmäßig stattfindenden Telefonkonferenzen, später Videomeetings und Projekttreffen tauschen sich die Partner über den Bearbeitungsstand aus.

In definierten Meilensteinen wird der Projektfortschritt definiert.

¹ <https://www.titv-greiz.de/de/forschung-entwicklung/gefoerderte-forschungsprojekte> (Zugriff am 17.02.2023)

Meilenstein 1: Systemspezifikationen für „Manta“ und „Dachs“

Meilenstein 2: Erste Funktionsmuster mit positiven Testergebnissen

Meilenstein 3: Vorliegen der Einzelkomponenten mit erfolgreich durchgeführten Modultests

Meilenstein 4: Erfolgreiche Integration in die Robotplattformen

I.3 Wesentliche Ergebnisse

Die entwickelte funktionelle 3D-Sensorhaut erfüllt die in der Aufgabenstellung aufgezeigten Möglichkeiten für die beiden Anwendungsbereiche von Manta und Dachs. Dies ist im Praxistest für beide Robotersysteme getestet und bestätigt worden. Durch den modularen Aufbau kann der Einsatz auch auf andere Systeme übertragen werden.

I.3.1 Beschreibung der wichtigsten Teilergebnisse

Entwicklung und Herstellung einer flexiblen bionischen 3D-Sensorhaut:

Als Technologie für die Herstellung der textilen 3D-Strukturen kommt das Abstandsgewirke zum Einsatz. So können textile Strukturen mit einer definierten Dicke und Elastizität hergestellt werden. Mit der Materialauswahl werden zusätzlich die Anforderungen an Haltbarkeit und Stabilität erfüllt.

Im Konsortium hat man sich für einen mehrlagigen Aufbau der Robotikhaut entschieden. Eine äußere Textillage (ohne elektrische Funktion) dient als mechanische Schutzschicht. Unter dieser werden in einer separaten Funktionsschicht das Bussystem zur Kommunikation und die textilen Sensorelemente integriert. Besonderer Vorteil dieser neuartigen flächigen Sensoren ist, dass sie die Sensitivität des Systems erhöhen und ein großes Sichtfeld garantieren, wodurch eine effiziente Vermessung großer Areale ermöglicht wird.

Integration von leitfähigen Strukturen und Sensormodulen:

Für die Funktionalisierung der 3D-Struktur mit leitfähigen Strukturen und Sensorelementen werden leitfähige Materialien mittels Sticktechnologie appliziert. Diese ermöglicht ein freies, formenunabhängiges Platzieren der Leiterstrukturen und der elektronischen Bauteile. Elektronische Leitungen und Bauteile werden mechanisch sicher und dauerhaft integriert.

Textilphysikalische und Smart Textiles Prüfungen:

Projektbegleitend werden textilphysikalische Untersuchungen zur Spezifikation der Fäden und der textilen Flächen durchgeführt. Im Rahmen der Fadenauswahl werden z. B. Fadenfestigkeit und Fadenfeinheit nach DIN EN ISO 2062, Höchstzugkraftdehnung und feinheitsbezogene Höchstzugkraft nach DIN 53834 geprüft.

Die verschiedenen Layouts der 3D-Kettengewirke, welche im Pilotmaßstab und Industriemaßstab hergestellt werden, werden sowohl als Rohware als auch als veredelte Fertigware u. a. hinsichtlich:

- Flächenmasse nach DIN EN 12127;
- Maschendichte nach DIN EN 14971;
- Dicke nach DIN EN ISO 5084;
- Elastizität nach DIN EN 14704-1

geprüft.

Diese Prüfungen sind einerseits wichtig, um die spezifizierten Anforderungen an die bionische Haut zu gewährleisten, und andererseits liefern die Prüfwerte wichtige Vorgaben für die Übertragung nachfolgender Prozesse, wie z. B. der Veredelung vom Pilotmaßstab in den Industriemaßstab.

Die Prüfungen der Funktionselemente, zu denen textile Leiterbahnen und textilbasierte Sensoren und deren Verbindung gehören, werden im Smart-Textiles-Prüflabor des TITV Greiz

durchgeführt. Neben der Zuverlässigkeitssprüfung für einzelne elektrische Zuleitungen werden kombinierte Prüfungen einer Belastung und dem dazugehörigen Funktionsmonitoring durchgeführt. Im Falle der Roboterhaut sind dies vor allem mechanische Belastungen wie die zyklische Bewegung der Haut, und das Monitoring des elektrischen Widerstandes der Leiterbahnen, der Signalqualität (vermindert durch z. B. Artefakte), der Stabilität von Kontaktstellen und der Beeinflussung durch Querempfindlichkeiten zu den Umgebungsbedingungen (z. B. Seewasser).

Alle 4 Meilensteine sind erfolgreich abgeschlossen worden.

I.3.2 Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen und internen/externen Stellen bzgl. Vergabe

Der Einsatz von funktionalisierten Textilien als Trägersubstrat elektronischer Bauteile zur Erreichung des Gesamtziels des Forschungsvorhabens „Bionic RoboSkin“ ist anspruchsvoll und erfolgt in einem Bündnis aus Unternehmen und Forschungseinrichtungen. Diese sind im Einzelnen:

Name des Antragstellers	Art der Einrichtung	Kernkompetenzen	Ansprechpartner
EvoLogics GmbH, Berlin	KMU	Systemintegration der Bionic RoboSkin in die Anwendungsplattformen, Validierung der Bionic Robo-Skin, Projektkoordinator	Rudolf Bannasch Leif Kniest
Sensorik Bayern GmbH (SBG), Regensburg	KMU	Entwicklung des Sensorarrays, Sensordatenfusion	Stefan Gottwald Andreas Hofmeister Johannes Summer
BalticTaucher GmbH, Rostock	KMU	Definition des Anwendungsszenarios SubSea, Validierung des Demonstrators „Manta“	Jens Eppler
GEO-DV GmbH, Stendal	KMU	Definition des Anwendungsszenarios LandRover, Validierung des Demonstrators „Dachs“	Gerd Heller
Fraunhofer IZM, Berlin	Institut	Entwicklung von Integrationstechnologien für Sensorsmodule für raue Umgebungsbedingungen	Karl Friedrich Becker Marcus Voitel David Schütze
TITV Greiz	Institut	Entwicklung von modularen 3D-Textilstrukturen für Sensorelemente und Verbindungsstrukturen	Heidi Schaarschmidt Hans-Joachim Krückel

Die Partner haben im Wesentlichen Schwerpunkte innerhalb ihrer eigenen Kernkompetenz zu bearbeiten, um so zum Gesamterfolg des Vorhabens beizutragen. Die Arbeiten könnten in dieser Form nicht von den jeweils anderen Partnern geleistet werden.

Die Durchführung der Vergabe ist von der Auftragsberatungsstelle Sachsen-Anhalt, Alter Markt 8, 39104 Magdeburg unterstützt worden.

II Eingehende Darstellungen

II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

II.1.1 Spezifikation und Anwendungsszenarien

In dieser ersten Phase des Projektes werden die derzeit verfügbaren technologischen Möglichkeiten im Projektionskonsortium beraten und relevante Anwendungsfälle für autonome Roboterplattformen definiert. Es sind zwei Anwendungsszenarien geplant. Einerseits wird der „Manta“ für Unterwasseranwendung und andererseits der „Dachs“ für den Einsatz an Land entwickelt. Daraus werden konkrete Anforderungen an die projektkonforme Gestaltung der Hard- und Software abgeleitet und spezifiziert. Von allen Projektpartnern wird gemeinsam die Spezifikation des Gesamtsystems erarbeitet.

Die Anforderungen, welche dafür an das Textil sowie die elektronischen Leitungen und Bauteile gestellt werden, sind ausschlaggebend für den erfolgreichen Einsatz und die Verarbeitung in der Sensorhaut.

II.1.1.1 Spezifikation der Anforderungen an die Sensoren bzw. das Sensornetzwerk

Die Projektpartner haben verschiedene Sensoren und Sensorprinzipien durchdacht und ausgewählt. Ausgehend von favorisierten Varianten werden Anforderungen an die textilen Bussysteme abgeleitet. Wichtige Parameter neben der textilechnologischen Verarbeitbarkeit sind hierbei Leitfähigkeit und der Abstand der einzelnen Leiterbahnen, aber auch Möglichkeiten der späteren Kontaktierung der Sensorbauteile. Die Leiterbahnen müssen flexibel sein sowie eine gute konstante Leitfähigkeit aufweisen. Lösungsansatz ist ein flexibles Material in dem sechs isolierte Leiterbahnen als Bussystem integriert werden. Diese dienen als Zuleitung zu den ausgewählten Sensoren.

II.1.1.2 Spezifikation der Anforderungen an Textile Sensorhaut

Sowohl die Einsatzorte als auch die Geometrie der Robotikplattformen sind sehr unterschiedlich. Deshalb wird eine möglichst flexible textile Sensorhaut entwickelt. In Abstimmung mit den Projektpartnern wird ein Anforderungskatalog erstellt. Besonderes Augenmerk wird dabei an die geforderten textilen Eigenschaften, deren Haltbarkeit im Gebrauch, aber auch die Verarbeitbarkeit auf Textilmaschinen gelegt. Davon abgeleitet erfolgt die endgültige Auswahl geeigneter Materialien und textiler Technologien für die weitere Bearbeitung.

Die Anforderungen sind in einem Katalog zusammengefasst worden. (Siehe Anlage 1)

II.1.2 Konzeptentwicklung / Detaillierung der geplanten Arbeiten

Das TITV Greiz entwickelt gemeinsam mit dem IZM Berlin die Konzepte für die Verbindung zwischen Rahmen und Textil, dabei finden textilkompatible Kontaktierungslösungen besondere Berücksichtigung.

Für die Integration von Elektronikmodulen in leitfähig strukturierte Textilien stehen unterschiedlichste Kontaktierungsverfahren zur Verfügung. Diese lassen sich in zwei Kategorien unterteilen. Zum einen werden Elektronikprozesse (z. B. Löten) im textilen Umfeld benutzt und zum anderen werden textile Prozesse (z. B. Stickern) eingesetzt, um die Elektronikmodule mechanisch und elektrisch zu kontaktieren. Eine Übersicht gibt die folgende Abbildung 1.

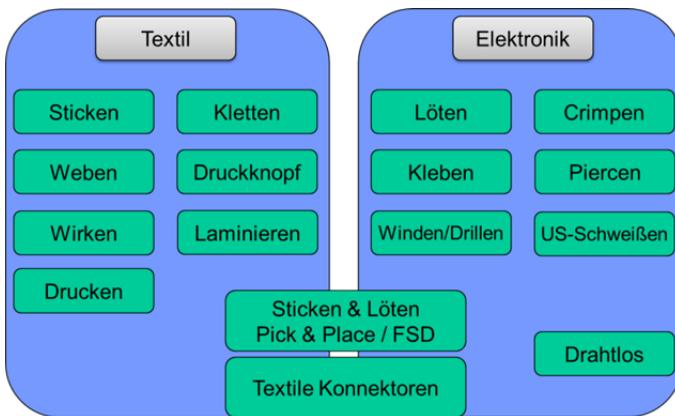


Abbildung 1: Übersicht über Kontaktierungsverfahren von Elektronikmodulen in Textil

Für die ersten Untersuchungen werden in Abstimmung mit dem IZM Berlin konventionelle Kontaktierungsverfahren genutzt. Im Laufe des Projektes sind weitere Verfahren, wie beispielsweise das Ultraschallschweißen, getestet worden.

Die textile Hülle als Außenhaut eines Roboters dient der Abgrenzung zur Umwelt und wird dafür entsprechend konstruiert und ausgerüstet. Sie ist gleichzeitig Schutz und Träger der Sensoren/Sensorstrukturen und der Verbindungsleitungen, hat aber auch großen Einfluss auf das Strömungs- und Flugverhalten des Mantas im Wasser.

Ausgehend von der Konstruktionszeichnung (Fa. EvoLogics GmbH, Berlin) wird ein erster Bezug für den Flügel konzipiert. In der Abbildung 2 ist der Aufbau der textilen Außenhaut schematisch dargestellt, die die elektrischen Komponenten tragen soll.

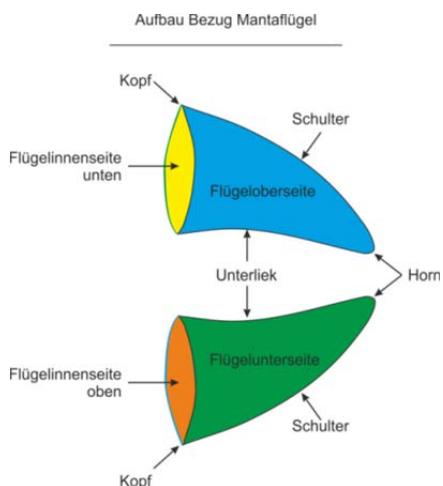


Abbildung 2: Aufbau der textilen Außenhaut

Variante 1

Für die Verlegung von elektrischen Leitungen ist es ein großer Nachteil, wenn Schnittteile in mehrere Segmente unterteilt sind und mit Nähten wieder zusammengefügt werden müssen. An diesen Stellen müssen die elektrischen Leiterbahnen entweder mit einem Steckkontakt oder durch ein anderes Fügeverfahren wie Löten oder Crimpen verbunden werden. So eine Verbindungsstelle stellt immer ein gewisses Risiko für die Zuverlässigkeit dar. Zum einen kann der Kontakt brechen, zum anderen besteht die Gefahr, dass an diesen Stellen Wasser eindringt und es zu Fehlfunktionen bis hin zum Ausfall des Moduls kommt. Um dieses zu vermeiden, wird die Schnittführung so ausgeführt, dass an der „Schulter“ des Mantaflügels keine Naht vorhanden ist (siehe Abbildung 3).



Abbildung 3: Einlagiger Bezug - Stoffbruch an der Flügelkante vorn

Bei der Vorstellung dieses Bezuges im Projektkonsortium zeigt sich, dass die Rippen des Mantas sich zu deutlich durch das Material abbilden. Dies wird als Nachteil gewertet, da man vermutet, dass sich das Material an diesen Stellen zu schnell durchscheuert. Als Gegenmaßnahme ist ein weiteres Modell konstruiert worden, wobei auf die Schulter des Mantaflügels eine zweite Stofflage aufgebracht wird, siehe Abbildung 4. Ein weiterer Vorteil dieser Variante ist, dass sich die Festigkeit des Materials insgesamt erhöht.

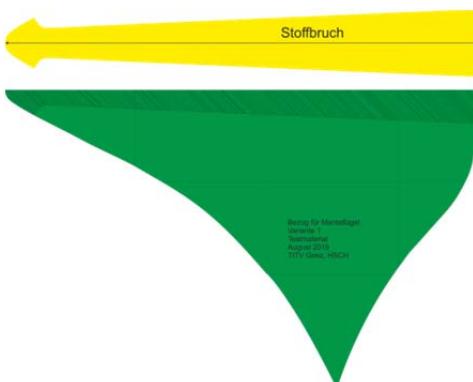
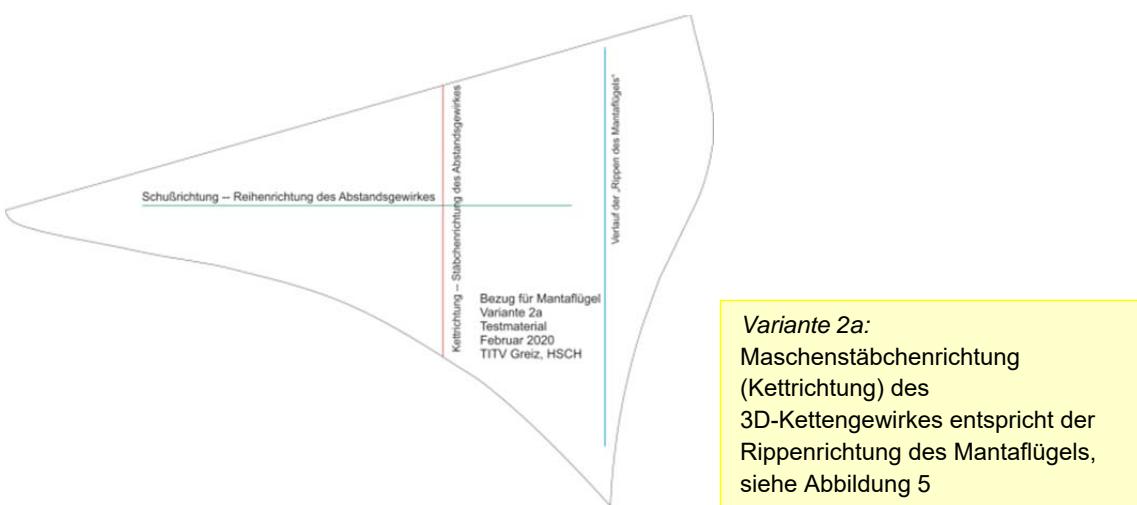


Abbildung 4: Konstruktionszeichnung für Variante 1 und Verstärkungsteil (gelb)

Variante 2

Für Tests werden weitere Probebezüge des Mantaflügels konzipiert. Um die gewünschte Flexibilität des Materials zu untersuchen, werden unter Beachtung der Rippenrichtung und des Verlaufs der Maschenstäbchen- und Maschenreihenrichtung weitere Testmuster gefertigt.



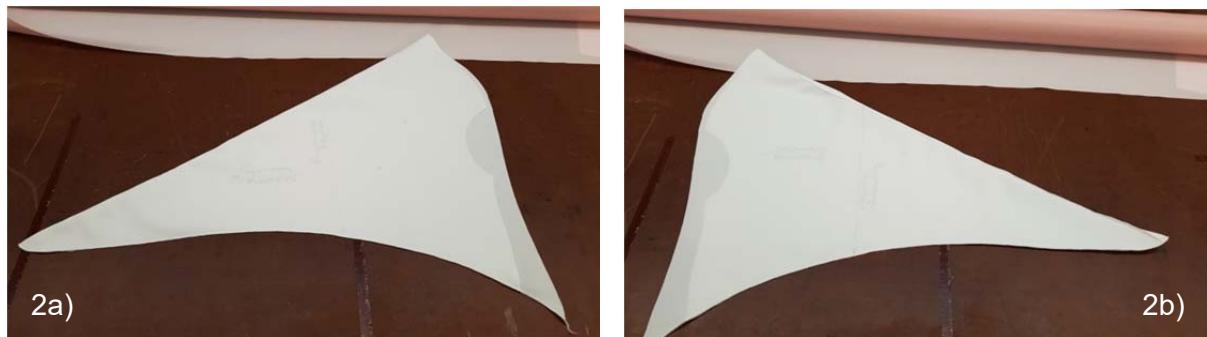
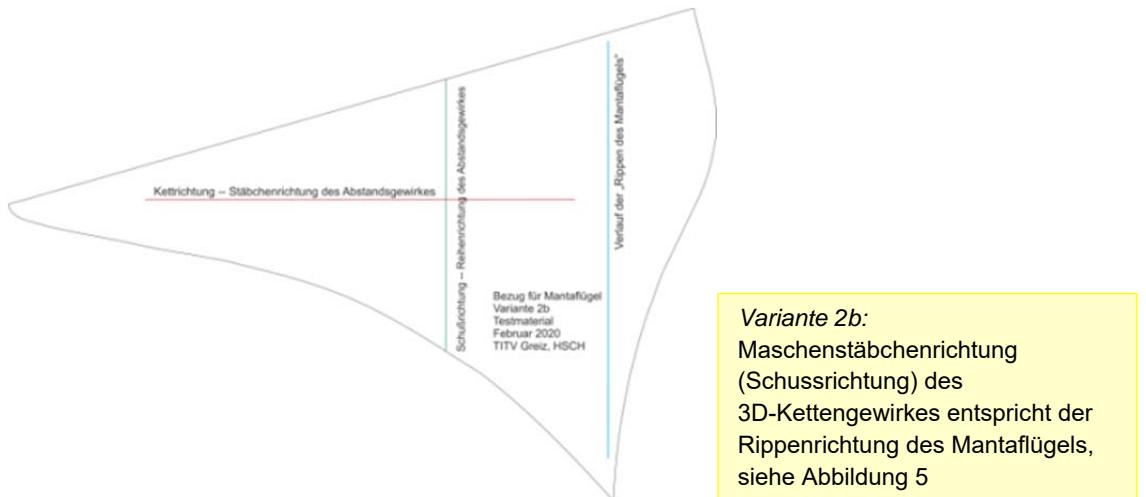


Abbildung 5: Gefertigte Bezüge in Variante 2a und 2b

Leider kann mit dieser zweiten Variante der Vorteil zur Fertigung der Flügelhaut ohne eine Teilung der Schnittteile nicht eingehalten werden. Jetzt steht die große Herausforderung der Verlegung der elektrischen Zuleitungen, ohne dass die im Vorfeld beschriebenen Nachteile zum Tragen kommen. Ein Lösungsansatz ist eine Art textiler Kabelbaum, der im Inneren des Mantaflügels liegt. Die Zuleitungen werden auf einen textilen Träger mittels Sticktechnologie/Verlegetechnik aufgebracht. Dabei können die elektrischen Leiter durch eine spezielle Verlegetechnik im dritten Fadensystem flexibel und richtungsunabhängig verarbeitet werden (siehe Abbildung 6).

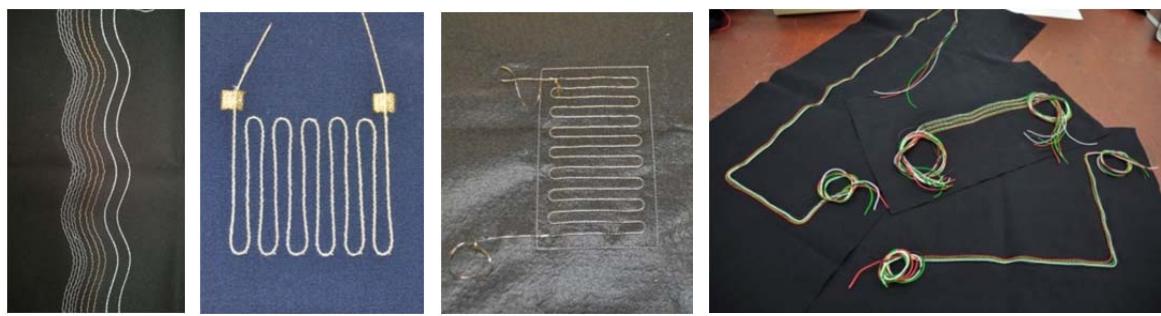


Abbildung 6: Aufgestickte Zuleitungen auf unterschiedlichen textilen Trägern

Zum Schutz der leitfähigen Strukturen vor Umwelteinflüssen werden erste Konzepte aufgezeigt, wie die textile Außenhaut geschützt werden kann, ohne die Funktionalität der Roboter negativ zu beeinflussen.

Dazu werden unterschiedliche Beschichtungsverfahren und -materialien ausgewählt und auf einer Versuchsfläche aufgebracht. Tabelle 1 gibt einen Überblick über verwendete Techno-

logie mit den entsprechenden Angaben zur Rezeptur und chemischen Basis der Beschichtung.

Tabelle 1: Auswertung der Beschichtungsversuche für wasserabweisende Beschichtungen (einseitig) auf 3D-Kettengewirke

Nr.	Technologie	Form	Rezeptur	Chemische Basis
0	Referenz	-	-	-
K 1	Kaschierung Folie +Web 20 g/m ²	vollflächig	Platilon 4201 100 µm, ABE 003	Polyurethan
K 2	Kaschierung Netz 125 g/m ²	vollflächig	Collano 22.001	Polyethylen
K 3	Kaschierung Netz 23 g/m ²	partiell	Protechnic 176	Copolyamid
K 4	Kaschierung Folie +Web 20 g/m ²	Partiell, negativ	Platilon 4201 100 µm, ABE 003	Polyurethan
K 5	Kaschierung Folie +Web 20 g/m ²	Partiell, positiv	Platilon 4201 100 µm, ABE 003	Polyurethan
B 2	Direktbeschichtung Rakel/Walze	Vollflächig, 0,3 mm	Baymedix FD 103	Polyurethan
S 2	Direktbeschichtung Rakel/Walze	Vollflächig, 0,3 mm	Alpatec 30143	Silikon

II.1.3 Robuste AVT für Sensormodule / Sensormodulintegration

II.1.3.1 Realisierung der Schnittstelle Sensorträgerrahmen zu textiler Leiterbahn

Bei der Integration der Trägerrahmen auf die textilen Busstrukturen ist die Kompatibilität zwischen Textil und Elektronik besonders wichtig. Das TITV Greiz fokussiert sich auf die Verarbeitung der Trägerrahmen und deren mechanische und elektrische Kontaktierung auf dem Trägerstoff.

Folgende Varianten zur Befestigung der Trägerrahmen auf dem Textil sind u. a. möglich:

- Klettband
- Druckknopf
- Kleben
- Ultraschall
- Annähen
- Aufsticken

Kriterien für die anzuwendende Technologie sind folgende:

- Lösbar oder unlösbar miteinander verbunden
- Aufbaudicke des Trägermoduls
- Elektrische Kontaktierung zwischen Leiterbahnen und Modul
- Reparaturmöglichkeit bei defekten Modulen

Die Zuverlässigkeit der ausgewählten Technologie für den Einsatzzweck ist in weiteren Untersuchungen getestet und spezifiziert worden.

So wird beispielsweise die Befestigung des Modulrahmens mittels Druckknopf vorgeschlagen (siehe Abbildung 7). Erfahrungen aus anderen Projekten des TITV Greiz zeigen, dass sich diese Variante gerade bei der Verarbeitung von flexiblen Materialien sehr gut eignet. Damit kann auch ein elektrischer Kontakt zwischen dem textilen leitfähigen Trägermaterial und dem Elektronikmodul hergestellt werden.



Abbildung 7: Elektronikmodul mit integrierten Druckknöpfen zur Kontaktierung auf Textilien

Im vorliegenden Fall kann dies aus folgenden Gründen nicht übertragen werden:

1. Die elektrischen Kontakte müssen gegenüber dem Eindringen von Wasser geschützt und isoliert sein.
2. Die Befestigung der Modulrahmen mittels Druckknopf erscheint den Projektpartnern als zu instabil. Es wird befürchtet, dass sich diese in der Bewegung der Flügel abscheren könnten.
3. Das Einbringen der Druckknöpfe in den Modulrahmen kann technisch nicht umgesetzt werden.

Ähnliche Ergebnisse zeigt das Anbringen von Klettband auf dem Modulrahmen. Textiltechnisch kann eine Seite des Klettbandes auf dem Textil aufgenäht werden. Für die Klebeverbindung zwischen Klettband und Modulrahmen kann kein geeigneter Klebstoff, der die Bedingungen zur Beständigkeit gegenüber Meerwasser bzw. UV-Strahlung erfüllt, gefunden werden.

Eine weitere Möglichkeit für eine stabile, positionsgerechte Verbindung der Modulrahmen mit dem textilen Trägermaterial ist das Ansticken. Dabei werden an den Modulrahmen Ösen angebracht, über die mittels Sticktechnik die Verbindung hergestellt wird. In verschiedenen Arbeiten des TITV Greiz werden solche Verbindungen z. B. mit der FSD™-Technologie untersucht und durchgeführt (siehe Abbildung 8). Eine Adaption auf die vorliegenden Modulrahmen wird getestet und modifiziert. Für die Umsetzung dieser Variante werden die Größen, Anzahl und Lage der Ösen definiert.



Abbildung 8: a) Angestickte FSD™ mit LED bestückt
b) Angestickte Drucksensoren im Projekt „BMBF MST 16SV3457 SeatSen“

II.1.4 Modulare 3D-Textilträgertechnologie

II.1.4.1 Auswahl, Charakterisierung und Modifikation von Fadenmaterialien für die Verarbeitung mit verschiedenen Technologien (Weben, Wirken)

Gemäß der im Anforderungskatalog definierten Anforderungen an die Sensorhaut werden Fadenmaterialien ausgewählt und getestet, welche hinsichtlich der Endanwendung insbesondere die verschiedenen Klimabedingungen (Kälte, Wärme, UV-Strahlung) erfüllen, auf den Textilmaschinen verarbeitbar sind und nach ihrer Verarbeitung zur textilen Fläche die Spezifikation bezüglich Dehnung und Elastizität erfüllen.

Folgende Fadenmaterialien erfüllen diese Anforderungen:

Tabelle 2: Textilphysikalische Parameter ausgewählter Fadenmaterialien, verarbeitbar auf Doppelraschel-Maschine

Lfd.-Nr.	Material	Feinheit in dtex	Filamentanzahl	Höchstzugkraftdehnung in %	Feinheitsbezogene Höchstzugkraft in cN/tex
1	PES Multifil	50-100 dtex	20-100	35-40	3-5
2	PES Monofil	33 -78 dtex	1	25-40	3-5
3	PES XPand	50 -70 dtex	20 -40	40- 55	25-30

Die ausgewählten Fadenmaterialien sind sowohl in der Weberei als auch in der Wirkerei verarbeitbar und bestehen aus synthetischem Polyester. Dieses zeichnet sich im Gegensatz zu Polyamid und Polypropylen durch eine geringe Feuchtigkeitsaufnahme, eine hohe Chemikalienbeständigkeit und hohe UV-Beständigkeit aus. Eine besondere Schwierigkeit besteht darin, dass die Maschenelastizität der Gewirke, welche aus herkömmlichen „unelastischen“ PES Fadenmaterialien gefertigt sind, nicht ausreicht, die Anforderungen bezüglich Dehnung und Elastizität der Roboterhaut zu erfüllen. Um die Anforderung erreichen zu können, wird ein „elastisches“ Texturfadenmaterial der Firma Trevira GmbH beschafft, welches den notwendigen elastischen Anteil in die textile Fläche einbringt und dennoch die Anforderungen an die Beständigkeit erfüllt. Die Fadenmaterialien werden u. a. durch Parameter wie z. B. Höchstzugkraft, Höchstzugkraftdehnung DIN EN ISO 2062 etc. charakterisiert.

Um Fadenmaterialien in ihren Eigenschaften anzupassen, werden mit den spezifizierten Fadenmaterialien Gimpkonstruktionen (Fadenkonstruktionen) entwickelt und auf ihre Verarbeitbarkeit auf Web- und Wirkmaschinen getestet. Da die Anforderungen nicht oder nur teilweise erfüllt werden, kommen diese Fadenkonstruktionen nicht zum Einsatz.

II.1.4.2 Durchführung von Verarbeitungstests mittels geeigneter textiltechnologischer Verfahren

In ersten Verarbeitungstests mit den ausgewählten, unmodifizierten Fadenmaterialien sind Gewebe und 3D-Kettengewirke hergestellt worden. Diese Versuche zeigen, dass Gewebe aus den favorisierten Fadenmaterialien nicht für den Einsatz als Roboterhaut geeignet sind. Die Gewebe sind unter 1 mm dick (Abbildung 9). Wie in Abbildung 11 (Fadenlauf der Weberei) dargestellt, liegen die Kett- und Schussfäden unterschiedlich gebunden horizontal bzw. vertikal im Textil, allein die Fadenelastizität entscheidet so über die Elastizität der textilen Roboterhaut. Selbst durch die Verarbeitung des elastischen PES XPand kann die geforderte Elastizität der Haut nicht erreicht werden.

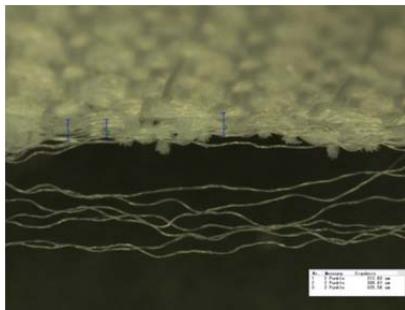


Abbildung 9: Querschnitt Gewebe, mikroskopische Aufnahme mit 50-facher Vergrößerung

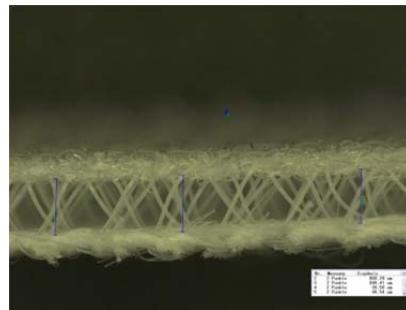


Abbildung 10: Querschnitt Gewirke, mikroskopische Aufnahme mit 50-facher Vergrößerung

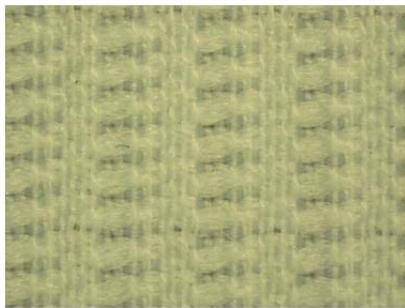


Abbildung 11: Draufsicht Gewebe, mikroskopische Aufnahme mit 30-facher Vergrößerung



Abbildung 12: Draufsicht Gewirke, mikroskopische Aufnahme mit 30-facher Vergrößerung

Mit dem dreidimensionalen Aufbau der textilen Strukturen an der Doppelraschelmaschine im TITV Greiz wird dagegen die im Anforderungskatalog spezifizierte Elastizität erreicht. Allerdings nur, indem das elastische Fadenmaterial in mindestens eine Gewirkefläche des 3D-Kettengewirkes verarbeitet wird. Abbildung 12 zeigt die gewirktypische Maschenbildung, mit der grundsätzlich eine höhere Materialelastizität als bei einem Gewebe erzielt wird. Des Weiteren bietet der dreidimensionale Aufbau, welcher in Abbildung 10 dargestellt ist, den notwendigen Platz zur Verlegung der leitfähigen Fadenmaterialien.

Die hergestellten Muster werden in Langzeittests bezüglich ihrer UV- und Salzwasserbeständigkeit untersucht und bewertet.

II.1.4.3 Textiles Substrat als Träger für die Sensormodule

II.1.4.3.1 Wirkprinzip für die Entwicklung und Herstellung von 3D-Kettengewirken

Die Herstellung der Roboterhaut konzentriert sich nach den ersten Verarbeitungsversuchen auf die Herstellung von 3D-Kettengewirken, da diese durch ihren dreidimensionalen Aufbau ein „verstecktes“ Verlegen der Zuleitungen im Textil ermöglichen.

Die Doppelrascheltechnik ist eine technisch interessante Methode zur Herstellung von 3D-Textilien.



Abbildung 13: Rechts/Rechts-Doppelraschelmaschine RD 7 im Technikum des TITV Greiz

Das Prinzip der Gewirkeherstellung auf einer Rechts/Rechts (RR)-Doppelraschelmaschine RD 7 (kurz RD 7, Abbildung 13) wird in Abbildung 14 skizzenhaft dargestellt: Zu den Wirkelementen gehören zwei Zungennadelbarren, zwei Abschlagkammbaren und zwei Stechkammbaren. Die Zungennadeln werden in den beiden Fräsbblechen geführt. Über die Fräsbbleche wird der Abstand der Deckflächen des Textils festgelegt und entsprechend eingestellt. Er ist in Bereichen zwischen 1,5 und 10 mm variabel einstellbar. Für die Herstellung eines dreidimensionalen Abstandsgewirkes müssen in den Lochnadeln von mindestens 3 Legebarren Fadenmaterialien eingezogen sein. Eine Legebarre bildet dabei die linke Deckfläche, die nächste führt die Polfadenlegung aus und die dritte bildet die rechte Grundfläche.

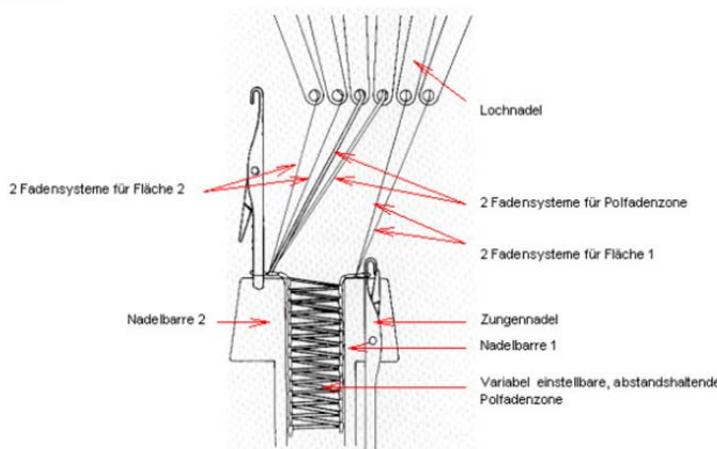


Abbildung 14: Wirkelemente einer Rechts/Rechts-Doppelraschelmaschine

Die Maschenbildung erfolgt durch eine Versatz- und Schwingbewegung der Legebarren mit den in den Lochnadeln eingezogenen Fadenmaterialien um die Zungennadeln herum. Die Zungennadeln führen gleichzeitig eine auf die Versatzbewegung abgestimmte Auf- und Ab-Bewegung aus (vgl. Abbildung 15).

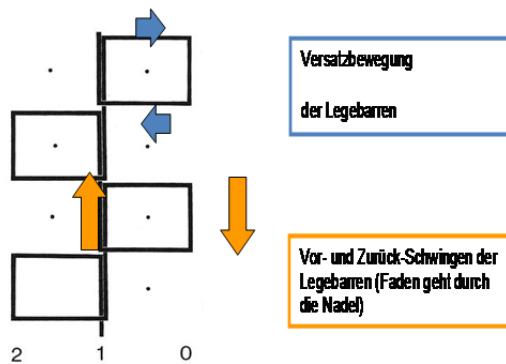


Abbildung 15: Darstellung der Versatzbewegung (Bewegung der Nadeln bei Maschenbildung)

Die Fadenmaterialien sind ohne weitere Vorbehandlung auf der RD 7 der Feinheit E 22 von der Karl Mayer Textilmaschinenfabrik (siehe Abbildung 13), vorerst in einer Arbeitsbreite von 21“, gerüstet und verarbeitet worden.

Es sind zwei Varianten des 3D-Kettengewirkes im Labormaßstab hergestellt worden. Im Verlauf der Arbeiten ist insbesondere untersucht worden, inwieweit das Einmaschen der leitfähigen Fadenmaterialien die Elastizität der textilen Fläche verändert bzw. der Veränderung der Elastizität durch das Arbeiten spezieller Bindungen entgegengewirkt werden kann.

Für die Auslegung der leitfähigen textilen Zuleitungen sind Bindungen erarbeitet worden, welche hinsichtlich der Rastermaße, Stromtragfähigkeit und Auslegung den Anforderungen an die Roboterhaut gerecht werden. In einem nächsten Arbeitsschritt werden die Bindungen, welche zunächst ohne die Umrüstung auf sequentielle Steuerung der RD 7 möglich sind, wirktechnisch umgesetzt und bezüglich ihrer Homogenität der elektrischen Leitfähigkeit beurteilt.

Die Mustersteuerung (Versatzbewegung der Legesteuerung) erfolgt bei der RD 7 mit einem mechanischen Getriebe. Im Rahmen des Projektes erfolgt der Umbau der Wirkmaschine auf eine elektronische/sequentielle Steuerung, wodurch die Abarbeitung einer Vielzahl verschiedener Bindungsvarianten mit angepassten Rapportlängen in der Versuchsdurchführung möglich ist. Die Zuführung der Fadenmaterialien erfolgt von Kettbäumen über entsprechende Fadenleitorgane zu den Maschenbildungselementen. Alle sieben Kettbaum-Positionen sind in einem freistehenden Rahmen über der Maschine angeordnet. Die Zulieferung der benötigten Materialmenge pro Fadensystem erfolgt über elektronisch geregelte Fadenablaufgetriebe.

Unter anderem werden folgende Bindungsvariationen (Tabelle 3) im Pilotmaßstab hergestellt, geprüft und haben sich auf Grund ihrer Elastizität und Dicke als geeignet erwiesen:

Tabelle 3: Auswahl der Bindungsvarianten

3D-Kettengewirke	Bindung	Material	FBA in mm
Variante 1			
Legeschiene 1	Körperbindung	PES 50f24	
Legeschiene 2	kleine Polbindung	Monofil 55f1	
Legeschiene 3	Stehfaden	leitfähiges Fadenmaterial	2,0
Legeschiene 4	Tuchbindung	PES 50f20 ESP	
Variante 2			
Legeschiene 1	Tuchbindung	PES 50f20 ESP	
Legeschiene 2	mittlere Polbindung	Monofil 55f1	
Legeschiene 3	Stehfaden	leitfähiges Fadenmaterial	2,0
Legeschiene 4	Tuchbindung	PES 50f20 ESP	
Variante 3			
Legeschiene 1	Körperbindung	PES 50f20 ESP	
Legeschiene 2	kleine Polbindung	Monofil 55f1	
Legeschiene 3	Stehfaden	leitfähiges Fadenmaterial	2,0
Legeschiene 4	Körperbindung	PES 50f20 ESP	

Die im Pilotmaßstab hergestellten Muster werden in Langzeittests bezüglich ihrer UV- und Salzwasserbeständigkeit untersucht und bewertet. Weitere werden von dem Projektpartner EvoLogics GmbH im Praxistest beurteilt.

Die erstellten Varianten sind als Unterauftrag für eine Herstellung des 3D-Kettengewirkes im Industriemaßstab im Zeitrahmen vom 27.11.2020 bis 08.12.2020 beschränkt öffentlich ausgeschrieben worden. Von den angefragten fünf Unternehmen wurde kein Angebot innerhalb der Angebotsfrist abgegeben. Das Verfahren ist aufgehoben worden, die Umsetzung der 3D-Kettengewirke im Industriemaßstab wird aus diesem Grund vom TITV Greiz selbst durchgeführt. Die für den Unterauftrag eingeplanten finanziellen Mittel in Höhe von 7.890,00 € werden in Abstimmung mit dem Projektträger in Material- und Personalkosten umgewandelt. Der damit verbundene höhere zeitliche und personelle Aufwand ist damit kompensiert worden.

Für die Herstellung des 3D-Kettengewirke im Industriemaßstab muss die Rechts/Rechts-Doppelraschelmaschine RD 7 des TITV Greiz in einer Arbeitsbreite von 63“ angepasst werden. Um die verhältnismäßig starren und weniger elastischen, leitfähigen Fadenmaterialien auf einer Doppelraschel-Maschine verarbeiten zu können, ist es notwendig, entsprechende Modifikationen durchzuführen. Dafür sind Umbauten an der Fadenzulieferung, bei der Fadenspannungsregelung an der Maschine und am Warenabzug erforderlich. Eine spezielle Zuführung der Fäden durch sogenannte Blattfedern ermöglicht es, die fehlende Fadenelastizität auszugleichen. Im Zuge der Maschinenanpassung werden für die gemeinsame Verarbeitung von kontroversen Fadenmaterialien (elastisch und unelastisch) Maschenbildungselemente (wie z. B. Lochnadeln und Stechkämme) beschafft und angepasst.

II.1.4.3.2 Anpassung der Textilmaschinen an die einzusetzenden Fadenmaterialien

Für die individuelle Anpassung der Elastizität ist die Umrüstung der RD 7 von mechanischer auf elektronische/sequentielle Steuerung erforderlich, um mit den spezifizierten Fadenmaterialien längere Rapporte und höhere Nadelversätze arbeiten zu können. Diese Umrüstung wird im Rahmen einer Ausschreibung im Unterauftrag vergeben. Der Einbau der elektronischen Steuerung an der RD 7 ist erfolgreich abgeschlossen (siehe Abbildungen 16 und 17).



Abbildung 16: Herkömmliche Steuerung mit Steuerkette der RD 7



Abbildung 17: Umrüstung auf sequentielle Steuerung der RD 7

Mit der Umrüstung ist es möglich, Bindungslayouts mit einer Rapportlänge von mehr als 40.000 Reihen und mit einem Versatz um 22 Nadeln zu entwickeln.

Dies ist insbesondere für das partielle Einarbeiten von isolierten leitfähigen Fadenmaterialien und die Verlegung der Zuleitungen in der Roboterhaut erforderlich, da so die gesamte Spannweite der bionischen Haut partiell sensoriert werden kann (siehe Abbildung 18).

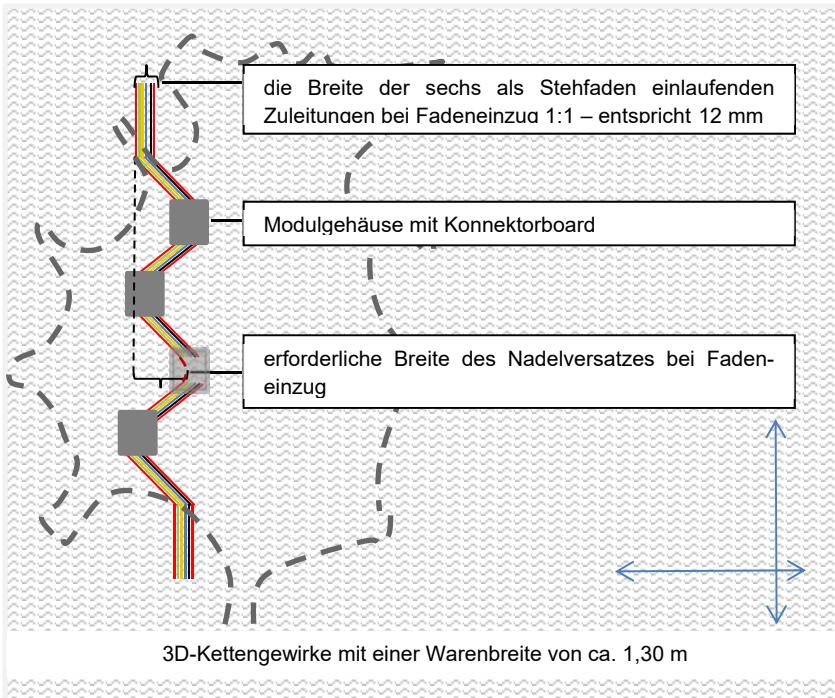


Abbildung 18: Schematische Darstellung zur Konfektion der Innenhaut bei als Stehfäden eingebrachten Zuleitungen der Konnektorboards über eine Warenbreite im Industriemaßstab der 3D-Kettengewirke von 63"

II.1.4.3.3 Herstellung der 3D-Gewirkestrukturen für die Roboterhaut

Mit der Umstellung der Wirkmaschine auf eine sequentielle Steuerung ist es möglich, eine Vielzahl von Gewirkestrukturen und Musterungsvarianten herzustellen.

Folgende Varianten von 3D-Kettengewirken sind in einer Breite von 63“ gefertigt worden. (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Darstellung der im industriellen Maßstab hergestellten 3D-Kettengewirke

3D-Kettengeweke	Bindung	Material	FBA in mm	Fläche 1	Fläche 2	Pol
V 120200						
Legeschiene 2	Körperbindung	PES 50f24	1,5			
Legeschiene 4	kleine Polbindung	Monofil 55f1				
Legeschiene 6	Tuchbindung	PES 50f20 ESP				
V 421200						
Legeschiene 2	Körperbindung	PES 50f24	2,2			
Legeschiene 3	kleine Polbindung	Monofil 55f1				
Legeschiene 6	Tuchbindung	PES 50f20 ESP				
V 521200						
Legeschiene 1	dreireihige Legung	PES 76f24	2,2			
Legeschiene 2	dreireihige Legung	PES 50f24				
Legeschiene 4	kleine Polbindung	PES 55f1				
Legeschiene 6	Tuchbindung	PES 50f20 ESP				

Die 3D-Kettengewirke sind so konzipiert, dass sie (maßgeblich) nach der Konfektion des Mantaflügels die Anforderungen in Hinblick auf das gemeinsam festgelegte Anforderungsprofil erfüllen. Dazu werden projektbegleitend textilphysikalische Prüfungen durchgeführt.

Während der Bearbeitung des Projektes wird insbesondere hinsichtlich elektronischer Herausforderungen das Layout des Mantaflügels immer weiter angepasst. Bei den Prüfungen von textilphysikalischen Eigenschaften, wie eine hohe Dehnbarkeit, haben die Bauteile und deren Zuleitungen einen reduzierenden Einfluss, welcher auch durch die Variation von Bindungen nicht ausreichend ausgeglichen werden kann. Wie in den Abbildungen 19 und 20 zu sehen ist, kommt es bei der Bewegung des Mantaflügels zur Faltenbildung. Ursache dafür ist eine unzureichende Elastizität innerhalb der Gewirkebindung.



Abbildung 19: Testszenario des Mantas mit textiler Außenhaut im Wasserbecken



Abbildung 20: „Anprobe“ der textilen Außenhaut

Mit der Erstellung weiterer Gewirkevarianten kann der Faltenbildung entgegengewirkt werden. Wie der Handdehnungsversuch (siehe Abbildung 21) zeigt, wird mit der Variante „V 521200“ eine höhere Dehnung in allen Richtungen erreicht. Diese Ergebnisse werden in der Prüfstelle des TITV Greiz überprüft.

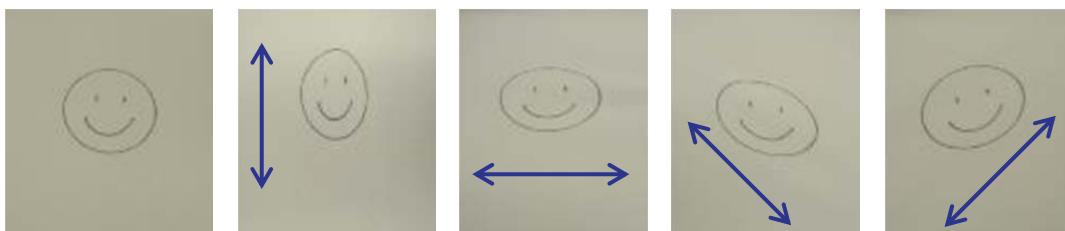


Abbildung 21: Handdehnungsversuche des Abstandsgewirkes, Art. V 521200



Abbildung 22: Finale Version der Außenhaut, Art. V 521200

Nach der Herstellung der 3D-Kettengewirke in den finalen Versionen erfolgt die Veredlung und Färbung der dreidimensionalen Kettengewirke im Unterauftrag gemäß der in Voruntersuchungen ermittelten Parameter. Begleitend zu den erforderlichen Prozessschritten werden die textilphysikalischen Prüfwerte erfasst.

II.1.4.4 Ausrüstung für Unterwasseranwendungen

Die textilen Strukturen werden für die weiteren Verarbeitungsschritte spezifisch vorbehandelt. Eine Beseitigung von Verunreinigungen und Präparationen ist für die Haftungseigenschaften nachfolgender Beschichtungen zwingend erforderlich. Ebenso muss die räumliche Struktur der Abstandsgewirke durch einen Thermofixierprozess stabilisiert werden.

II.1.4.4.1 Veredlung

Unter anderem werden die im Pilotmaßstab hergestellten Bindungsvariationen des Abstandsgewirkes auf der Spann-Trocken-Fixier-Anlage der Fa. Werner Mathis AG im TITV Greiz veredelt (Abbildung 23).



Abbildung 23: Spann-Trocken-Fixier-Anlage der Fa. Werner Mathis AG

Folgende Einstellungsparameter erweisen sich beim Veredlungsverfahren für das Erreichen der spezifizierten Anforderungen der bionischen Haut bezüglich ihrer Elastizität, Dicke und Dimensionsstabilität als geeignet (Tabelle 5):

Tabelle 5: Fixierparameter für die entwickelten Abstandsgewirke

Fixierung	
Fixieren	180 °C
Verweildauer	1,4 m/min (entspricht 60 s)
Voreilung	14-15 %
Druck	1 bar
Spannbreite	90 % der Rohwarenbreite

Begleitend zu den Versuchen zur Einarbeitung leitfähiger Fadenmaterialien werden die Veredlung der bionischen Haut spezifiziert und die Veredlungsparameter so festgelegt, dass die textilen Flächen in allen weiterführenden Verfahren sowie im Gebrauch dimensionsstabil sind, jedoch die durch das Anforderungsprofil benötigte Elastizität aufweisen.

Nach Festlegung der erforderlichen Parameter erfolgt die Veredlung der textilen Flächen zur Prototypenherstellung im Unterauftrag. Die Textilausrüstung Pfand GmbH hat auf dem Gebiet der Veredlung von 3D-Kettgewirken ausreichende Erfahrungen. Die Veredlung erfolgt nach den im Labormaßstab ermittelten Parametern.

II.1.4.4.2 Ausrüstung und Beschichtung

Die Ausrüstung, die Beschichtung bzw. die Kaschierung von textilen Trägerbahnen dienen dem Erlangen bestimmter funktioneller Eigenschaften, über welche die Textilien bisher nicht verfügen, beispielsweise die Funktion der Wasserabweisung oder die Dichtigkeit gegenüber wässrigen Medien. Gemäß Anforderungskatalog ist es notwendig, die textile Außenhaut so zu behandeln, dass ein ausgewogenes Verhältnis zwischen wasserdichten und wasser-durchlässigen Zonen und damit der vordefinierte Strömungswiderstand geschaffen werden. Dazu werden verschiedene Verfahren untersucht und getestet.

Ausrüstung

Versuche zur wasserabweisenden Ausrüstung der Trägermaterialien auf Basis von Fluorcarbonen zeigen einen sehr guten wasserabweisenden Effekt, sind aber für die geplante Endanwendung durch die Projektpartner im Wasserrückhaltevermögen als ungenügend eingestuft worden. Daher erfolgen die weiteren Versuche, je nach notwendigen Durchdringungsgrad der Roboterhaut mit vollflächigen Beschichtungen oder mit teilperforierten Kaschierungen.

Im weiteren Projektverlauf wird die entwickelte wasserabweisende Ausrüstung in Kombination mit einem antibakteriellen Textilhilfsmittel als Finishausrüstung der beschichteten Strukturen verwendet, um die Eigenschaften der Langlebigkeit und zum Anschmutzungsverhalten zu verbessern (vgl. Tabelle 6)

Tabelle 6: Rezeptur und Verfahrensparameter zur Finishausrüstung der beschichteten AGWs

Finishausrüstung Kombination Wasserabweisung/ Antibakteriell	
Quecophob TL 1373	50 g/l
Gadalan TL 1103	15 g/l
Acticide TC 10	20 g/l
pH Wert	5,97
Flottenaufnahme	85,3 %
Druck / Temperatur zur Kondensation	4 bar / 170°C

Beschichtung

Die funktionelle Beschichtung erfolgt über das Aufbringen von Polymeren mit diversen Antragsaggregaten. Das verwendete Trägermaterial hat einen entscheidenden Einfluss auf die zu erzielenden Effekte. So stellt die Beschichtung von 3D-Kettengewirken eine besondere Herausforderung dar. Durch eine mehr oder weniger offenporige Gewirkeoberfläche kann die Beschichtungsmatrix in das Innere der 3D-Kettengewirke eindringen und damit die gewünschten Eigenschaften wie z. B. die Elastizität negativ beeinflussen. Um dem entgegenzuwirken, werden unterschiedliche Beschichtungspasten unter Verwendung von Polymeren auf Basis von Polyurethan und Silikon in verschiedenen Beschichtungsstärken getestet. Untersucht werden Antragstechnologien zur Direkt- und Transferbeschichtung der Gewir-

kestrukturen, wobei sich die Transfertechnologie zur Realisierung der Projektanforderung als besonders geeignet erweist. Bei der Transferbeschichtung wird ähnlich der Kaschiertechnologie ein Folienfilm auf das Trägermaterial appliziert. Die weiteren Untersuchungen erfolgen unter Verwendung der Kaschiertechnologie.

Kaschierung

Eine weitere Möglichkeit zur Oberflächenfunktionalisierung stellt die Kaschiertechnologie dar. Dabei werden zwei oder mehrere Lagen mit einer Klebeschicht und unter Verwendung von Temperatur und Druck miteinander verbunden. Als Klebemedium können eine thermoplastische Folie oder ein Web (Trockenkaschierung) eingesetzt werden. Das aufgeschmolzene Klebemedium dringt dabei nur wenig in die Gewirkestruktur ein. Auch bei diesem Verfahren werden Folien in verschiedener Dicke und Elastizität getestet, um die Elastizität des Gewirkes so wenig wie möglich negativ zu beeinflussen.

Auf Grund der differenzierten Anforderung der Wasserdurchlässigkeit in unterschiedlichen Bereichen des Mantaflügels wird die Kaschierung mit vollflächigen Folien oder Netzstrukturen auf Basis von Polyurethan und Copolyamiden durchgeführt. Dazu werden unterschiedliche Perforationsmuster entwickelt (Abbildung 24).

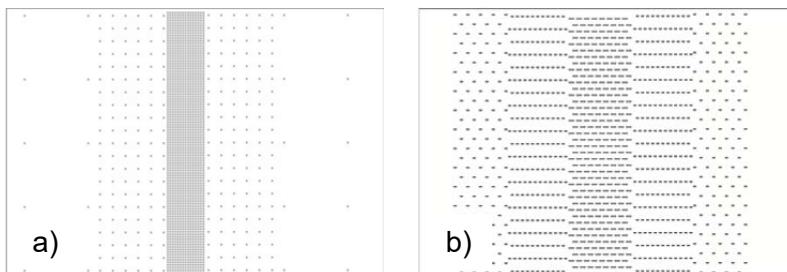


Abbildung 24: Beispiele für perforierte Folien zur Kaschierung
a) Lochmuster, Ø 1 mm; b) Schlitze, 2 mm hoch, 4 mm lang

Zur Charakterisierung der erstellten vielfältigen Muster ist eine Prüfmethode zur Bewertung der Wasserdurchlässigkeit in Anlehnung an den Muldenversuch (Ralf-Dieter Reumann, Prüfverfahren in der Textil- und Bekleidungstechnik, Springer Verlag, S.484) entwickelt worden, bei welchem die Dichtigkeit des Textils mit einem konstanten Wasserdruck geprüft wird.



Abbildung 25: Wassertropfentest an laserperforierter Kaschierung auf 3D-Kettengewirke
(Vorversuch zum Muldentest)

Für die Prüfung wird der Prüfling einer definierten Größe in einem Rahmen eingespannt. Es bildet sich eine festgelegte Mulde, in welche destilliertes Wasser mit einem definierten Volumen eingefüllt wird (siehe Abbildung 26). Als Kennwert für die Wasserdichtheit wird die Zeitdauer von 120 s festgelegt. Das durchgedrungene Wasser wird zurückgewogen und die

Wasserdurchlässigkeit im Verhältnis zur ursprünglichen Wassermenge ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 dargestellt.

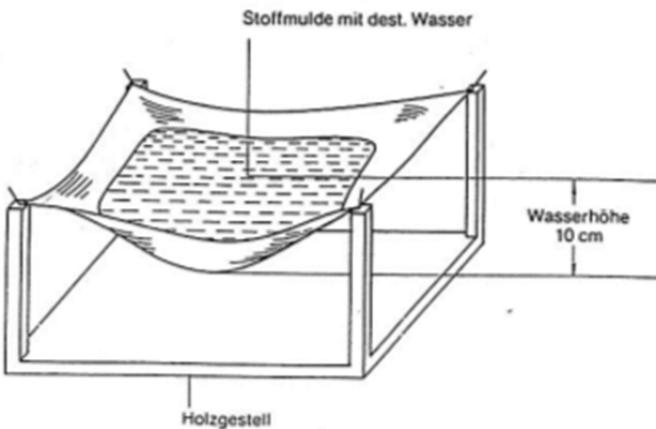


Abbildung 26: Schematische Zeichnung zum Aufbau des Muldenversuches

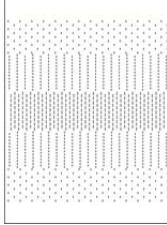
Tabelle 6: Auswertung Muldenversuch: Prüfung der Wasserdurchlässigkeit

Träger: AGW 120200

Zeitdauer konstant = Ermittlung der durchgelaufenen Wassermenge

Wassermenge Mulde: 200 g

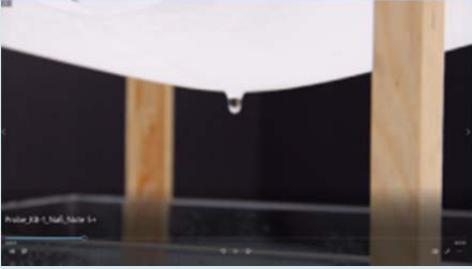
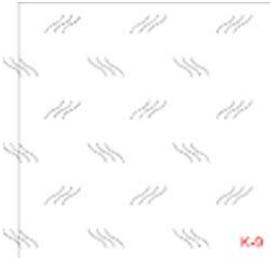
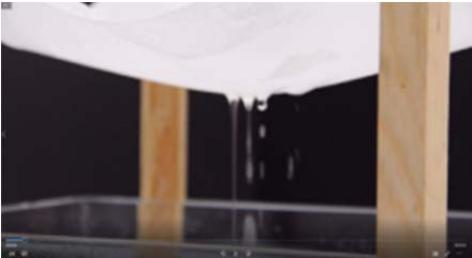
Probe	Art der Beschichtung	Grafisches Schnittbild	Durchgang Wassermenge nach 120 s in g		Wasser-durchlässigkeit in %		Dehnung in % bei 210 N längs bei 280 N quer	
			Trocken	Nass	Trocken	Nass	längs	quer
0	Nullprobe Ohne Beschichtung		200 (5 s)	200 (2 s)	100	100	67,5	62,3
V8_1	Rollrakel Silikon		0	0	0	0	71,0	65,9
V A	Vollflächig laminiert ohne Web + PU Folie		0	0	0	0	89,1	66,0
V B	Vollflächig laminiert Web + PU Folie		0	0	0	0	81,3	65,4
V 1	Laminiert mit PU Folie Laserperforation Muster <i>Schlitz:</i> Länge: 2,0 mm Breite: 0,25 mm <i>Abstand:</i> Höhe: 10,0 mm Breite: 7,0 mm <i>Versatz:</i> Höhe: 5,0 mm		156,75	200 (26 s)	78,4	100	128,6	61,5
V 5	Laminiert Mit PU Folie Laserperforation Muster: <i>Kreise:</i> Ø 1,0 mm <i>Abstand:</i> Höhe: 10,0 mm Breite: 10,0 mm		45,2	200 (82 s)	22,6	100	87,0	66,0
V 6 Muster 6	Laminiert Mit PU Folie Laserperforation	Keine Perforation	0	138,2	0	69,1	83,5	69,9

V 7	Laminiert Mit PU Folie Laserperforation Muster: Kreise: Ø 1,0 mm Abstand: in verschiedenen Variationen		200 (85 s)	200 (8 s)	100	100	
V 8	Laminiert Mit PU Folie Laserperforation Muster: Schlitze: Länge: 2,0/4,0 mm Breite: 0,25/0,15 mm Abstand und Versatz: in verschied. Variationen		200 (97 s)	200 (11s)	100	100	

Im Rahmen des Muldenversuchs wird die Elastizität der beschichteten 3D-Kettengewirke im Vergleich zum unbeschichteten 3D-Kettengewebe geprüft. Dazu wird zunächst die Höchstzugkraft-Dehnung nach DIN EN ISO 13934-1 an einem unbeschichteten Prüfling ermittelt. Aus der ermittelten Höchstzugkraft wird die Hälfte der Kraft festgelegt und die Dehnung bestimmt. Für die Variante des 3D-Kettengewirkes 120200 liegt die Kraft (F) in Längsrichtung bei 210 N und in Querrichtung bei 280 N. Die Elastizität der beschichteten Proben ist in Tabelle 6 dargestellt. Das Ergebnis zeigt, dass V1, V5 und V6 hinsichtlich des Wasserrückhaltevermögens als sehr aussichtsreich eingeschätzt werden können. Allerdings weisen die Textilien in Querrichtung eine hohe Beeinträchtigung der Gewirkeelastizität (größer 20 %) auf. Weitere Variationen zur Perforierung der Kaschierfolien werden erstellt und getestet.

In Tabelle 7 sind zwei Beispiele für die Durchführung der Tests dargestellt. Die Bewertung der Proben erfolgt gemäß den Anforderungen an das Textil. Zur Orientierung der Bewertung wird das Wasserrückhaltevermögen in der vorgegebenen Zeit bewertet.

Tabelle 7: Darstellung der Muldenversuche an zwei Beispielvarianten

Probe	Art der Beschichtung	Grafisches Schnittbild	Bewertung für Projektanforderung
K-8.1	Laminiert mit PU Folie vollflächig		Note 5 
K-9.1	Laminiert mit PU Folie vollflächig		Note 1 

Dafür wird folgendes Bewertungsschema siehe Tabelle 8 entwickelt. Die Note 1 bedeutet, dass innerhalb von 20 bis 30 s die gesamte Wassermenge durch das Textil gelaufen ist, es also sehr wasserdurchlässig ist. Bei der Note 5 läuft innerhalb von 120 s nur 50 % der vorgegebenen Wassermenge durch das Textil. Hier spricht man von einem eher wasserundurchlässigem Textil.

Tabelle 8: Bewertungsschema

Bewertungsnote	Wasserrückhaltevermögen	Zeit
Note 1	100 %	20 bis 30 s
Note 2	100 %	40 bis 60 s
Note 3	100 %	80 s
Note 4	90 %	120 s
Note 5	50 %	120 s

Die besten Ergebnisse sind durch die Kaschierung der Abstandsgewirke mit einer PU-Folie am Laminator erzielt worden. Eine Verbesserung der Elastizität und die Schaffung von wasserdurchlässigen und wasserundurchlässigen Zonen kann durch die gezielte Strukturierung der textilen Flächen mittels Lasergravur/Laserstrukturierung erzielt werden. Erste Überlegungen zur Strukturierung der gesamten Fläche mit einem durchgehenden Muster sind jedoch verworfen worden. Die neue Herangehensweise ist die schnittteilgezielte Strukturierung wie in Abbildung 27 zu sehen ist.



Abbildung 27: Schnittteilgezielte Laserstrukturierung

Vorteile:

- anpassbare, reproduzierbare Steuerung des Strömungswiderstandes
- Verbesserung der Elastizität und Dehnfähigkeit
- gleichmäßige und einfache Verarbeitung (später auch im Rolle-zu-Rolle-Prozess) möglich

II.1.4.5 Auslegung der textil-elektrischen Leiter

Zur Erreichung der gewünschten Funktionalität ist es erforderlich, die elektronischen Komponenten in verschiedenen Bereichen des Flügels zu verteilen und diese elektrisch zu verbinden. Die Anforderungen an die leitfähigen Materialien werden im Anforderungskatalog definiert (siehe Anlage 1).

Um die Eignung verschiedener Materialien beurteilen zu können, werden Materialrecherchen durchgeführt. Die in der Tabelle 9 aufgeführten elektrischen Leitungen sind für die Untersuchungen ausgewählt worden:

Tabelle 9: Auswahl elektrischer Leitungen

Leitungstyp	Isolierung	Seile	Leiterquerschnitt	Gesamtdurchmesser
CuL	Lackisolierung	Kupferdraht	0,35 mm ²	0,7 mm
LiY	PVC	Kupferlitze 10x0,08	0,05 mm ²	0,8 mm
LiY	PVC	Kupferlitze 18x0,10	0,14 mm ²	1,1 mm
LiH-T120	Polymer	Kupferlitze 18x0,10	0,14 mm ²	0,85 mm
LiH-T120	Polymer	Kupferlitze 32x0,10	0,25 mm ²	1,1 mm
RXL 3266	Polyolefin	Kupferlitze 19x0,16	0,35 mm ²	1,65 mm

Mit diesen erfolgversprechenden Materialien werden Verarbeitungs- und Belastungstests durchgeführt, um

1. die Verarbeitbarkeit auf der vorhandenen Stickmaschine zu testen,
2. die Langzeiteigenschaften der Isolationsmaterialien unter simulierten Salzwasserbedingungen im Ruhezustand und bei Bewegung der Struktur zu testen,
3. die elektrischen Eigenschaften gefertigter Muster zu prüfen,
4. das Spulendesign mit den Projektpartnern abzustimmen und erste Anwendungsversuche durchzuführen sowie
5. das Design den Anforderungen der Auswerteschaltung anzupassen.

Für die Verarbeitung in der sensorischen Roboterhaut wird folgender Artikel ausgewählt:

- Kabeltronik LiH-T120 (Abbildung 28)
- Eigenschaften:
 - Schaltlitze halogenfrei
 - Isolation TPE
 - Durchmesser 0,14 mm²
 - Widerstand 122 Ohm /km
 - Biegeradius > 5 x Außendurchmesser
 - Hitzebeständigkeit 120 °C



Abbildung 28: Ausgewählte Leiterstrukturen

II.1.4.6 Erarbeitung von Funktionskombinationen im Textil

Im Projekt sind textile Strukturen entwickelt worden, die in verschiedene Bereichen über unterschiedliche Funktionen verfügen. Dabei werden Leiterbahnstrukturen integriert, Kontaktstellen für die Sensoren auf den Trägerrahmen eingearbeitet, aber auch großflächige textile Sensorstrukturen (Antennenstrukturen) und Bereiche zur Stabilisierung und zur Befestigung an der textilen Haut (Außenhaut als Träger) kombiniert. Es ist sowohl bei Geweben

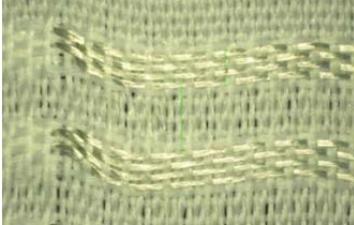
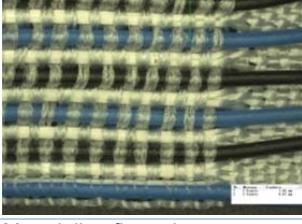
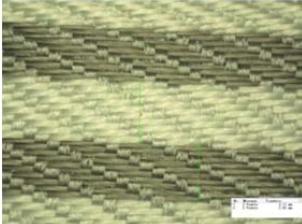
als auch bei Gewirken die Fadenzahl und Art der Fadeneinbindung entscheidend für die Anzahl und Integration der Sensoren in die textile Fläche.

Es werden textile Strukturen mit unterschiedlichen Bindungen erarbeitet und hinsichtlich ihrer Rastermaße, Stromtragfähigkeit und Auslegung der Leiterbahnen bewertet.

II.1.4.6.1 Webtechnische Einarbeitung elektrisch leitfähiger Strukturen

Die Entwicklungsarbeiten des TITV Greiz umfassen unter anderem die webtechnische Erstellung von textilbasierten Bus- und Datenkabeln. Im Ergebnis sind im Projekt folgende finale webtechnisch umgesetzte Varianten entstanden (siehe nachfolgende Tabelle 10):

Tabelle 10: Textilbasierte gewebte Bus- und Datenkabel

Variante V1_S4/4		<p>Konzipierung als 4-Leiterband:</p> <p>2 Leiter für Stromzufuhr (+ und -)</p> <p>Je ein Leiter für Dateneingang und Datenausgang nutzbar als USB-ähnliches textilbasiertes Leiterband oder für I²C-Bussysteme</p>
	Materialkonfiguration	4 Leiterbahnen bestehen aus je 4 CuAg-Litzen der Konstruktion 12x0,05 im Abstand von 2,54 mm zueinander
	Webtechnische Besonderheiten	Stützgarne in Kett- und Schussrichtung bestehen aus flammhemmenden PES-Garnen der Feinheit 167f36_2ply Leiterbahnen wurden in Schussrichtung eingewebt
	Elektrotechnische Eigenschaften	sehr gute Leitfähigkeit, kaum Signalverluste durch Dämpfung
Variante V2_ISO6		<p>Konzipierung als 6-Leiterband:</p> <p>Für die Verbindung von mehreren Sensorzellen zu einer Matrix – zum Beispiel 3 Spalten und 3 Zeilen</p>
	Materialkonfiguration	6 Leiterbahnen bestehen aus je 1 isolierten Cu-Litze (0,1 mm ²)
	Webtechnische Besonderheiten	gewebt in Kettrichtung auf NJFM-Bandwebmaschine mit Jacquardeinrichtung, Stützgarn ist ein PES-hochfest
	Elektrotechnische Eigenschaften	sehr gut isoliert gegen äußere Einflüsse
Variante V3_K2/3		<p>Konzipierung als 3-Leiterband:</p> <p>Mit dem Ziel der Verringerung der notwendigen Kontaktstellen: eine Leiterbahn für gemeinsames Massesignal, andere beiden Leiterbahnen für 2 unterschiedliche Schaltsignale</p>
	Materialkonfiguration	3 Leiterbahnen bestehen aus je 10 Bekinox-Fäden des Typs VN14.1.9.100Z (Breite der Leiterbahn 3 mm)
	Webtechnische Besonderheiten	gewebt in Kettrichtung mit hochfestem Polyester-Garn als Stützgarn
	Elektrotechnische Eigenschaften	sehr gute Korrosionsbeständigkeit Signalverluste durch geringe Leitfähigkeit der Edelstahllitzen

Variante V4_K26		Konzipierung als 1-Leiterband: Vorteil dieses 1-Leiterbandes ist die sehr breite Kontaktfläche sowie die hohe Strombelastbarkeit. Es dient als Hauptzuleitung innerhalb des Gesamtsystems.
	Materialkonfiguration Webtechnische Besonderheiten Elektrotechnische Eigenschaften	1 Leiterbahn aus 26 CuAg-Litzen der Konstruktion 12x0,05 gewebt in Kettrichtung, Schussfäden bestehen aus PES-Garn große 8 mm breite Kontaktfläche für gute Kontaktierung von leitfähigen Flächen, hohe Stromtragfähigkeit

II.1.4.6.2 Wirktechnische Einarbeitung elektrisch leitfähiger Strukturen

Durch die Modifizierung der RD 7 in der Wirkerei ist die Grundlagen zur Herstellung von leitfähigen 3D-Kettengewirken geschaffen worden. So ist es möglich, die ausgewählten leitfähigen Fadenmaterialien zusammen mit den textilen Fadenmaterialien zu verarbeiten.

Das Verwirken der leitfähigen Fadenmaterialien stellt hierbei die besondere Herausforderung dar. Um die verhältnismäßig starren und weniger elastischen, leitfähigen Fadenmaterialien auf der RD 7 zu verarbeiten, sind Umbauten an der Fadenzulieferung und der Fadenspannungsregelung der Wirkmaschine erforderlich.

Des Weiteren werden die starren, isolierten, leitfähigen Fadenmaterialien durch Blattfedern zugeführt. Neben einer schonenden Verarbeitung bei niedriger Maschinengeschwindigkeit wird so die fehlende Fadenelastizität bei der textiltechnologischen Verarbeitung ausgeglichen.

Das zu verarbeitende, leitfähige Fadenmaterial muss über Spulenkörper laufen, um die erforderlichen Eigenschaften des Gewirkes zu erzeugen. Hierfür sind über 500 Spulen notwendig. Um diese Spulen möglichst nah an den Wirkelementen zu platzieren und gleichmäßig mit diesen mitlaufen zu lassen, ist ein geteiltes Regalgatter bzw. Abrollgatter mit Tangentialabzug durch ein Ösenblech und einer Bremse pro Ablaufstelle erforderlich, welches sich unter dem Maschinenüberbau (Teilkettbaum-Gestell) der Raschelmaschine integrieren lässt. Im Rahmen einer öffentlichen Ausschreibung erfolgte die Vergabe und Beschaffung des Abrollgatters (Abbildung 29).



Abbildung 29: Abrollgatter

Wie in Abbildung 30 dargestellt, werden leitfähige Fadenmaterialien bis zu einer Fadenfeinheit von 300 dtex (entspricht im Durchmesser 0,2 mm) vermascht, um das Sensornetzwerk auf der Haut des autarken Roboters abzubilden.



Abbildung 30: Vermaschte elektrische Leitung im 3D-Kettengewirke

In einem weiteren Versuch werden, wie in Abbildung 31 dargestellt, isolierte, leitfähige Fadenmaterialien bis zu einem Fadendurchmesser von 0,7 mm verlegt.



Abbildung 31: Verlegte isolierte, elektrische Leitung im 3D-Kettengewirke

Mit den durchgeföhrten Recherchen und Tests zu geeigneten elektrischen Leitungen wird diese Variante der Fadenverlegung favorisiert. Auch hierfür zeigen sich die Vorteile der oben beschriebenen Umrüstung der RD 7 auf sequentielle Steuerung.

Für Kontaktierungen von großen leitfähigen Flächen, wie es die entwickelten 3D-Kettengewirkstrukturen sind, hat sich die Variante V4_K26 als optimales Kontaktierungshilfsmittel erwiesen. Vorteilhaft sind dabei die vielfältigen Verbindungsmöglichkeiten: Das leitfähige Kontaktierungsbändchen kann entweder aufgenäht (mit oder ohne leitfähigen Nähfaden), mittels Ultraschall oder Hochfrequenztechnik aufgeschweißt oder aufgeklebt werden. Das Aufkleben mit Hilfe eines leitfähigen thermoplastischen Klebewebs hat dabei den Vorteil, dass keine „Verjüngung“ (Dickenänderung) an der Kontaktstelle des 3D-Kettengewirkes entsteht. Damit bleibt das 3D-Kettengewirke über seine komplette Fläche homogen und somit gleichmäßig in seinem Ansprechverhalten bei entsprechender Druckbelastung. Nachfolgende Abbildung 32 zeigt das leitfähig aufgeklebte Kontaktierungsbändchen V4_K26 auf der 3D-Kettengewirkstruktruktur Art. 618100.



Abbildung 32: Leitfähig aufgeklebtes Kontaktierungsbändchen auf der 3D-Kettengewirkstruktruktur

In der Projektarbeit hat sich herausgestellt, dass die Verarbeitung von nicht isolierten bzw. lackisierten Fadenmaterialien für den Einsatz in der Roboterhaut nicht geeignet ist, da dieser vollständig von Wasser durchströmt wird und insbesondere bei den lackisierten leitfähigen Fadenmaterialien die textiltechnologische Verarbeitung auf der RD 7 zu Leckagen der Isolierung führen kann. Bei dem Kontakt mit Wasser würde es zu ungewollten Stromflüssen

kommen und die elektronischen Bauteile würden durch Kurzschlüsse falsche Daten liefern oder auch ganz ausfallen.

Um die leitfähigen Flächen vor Feuchtigkeit und äußeren Umgebungseinflüssen zu schützen, lassen sich die so kontaktierten 3D-Kettengewirkestrukturen zusätzlich durch das Aufkleben (Kaschieren) von dünnenschichtigen TPU-Folien abdichten. Diese TPU-Folien haben den Vorteil, dass sie sehr elastisch und dehnbar sind und somit die Funktionsweise des leitfähigen 3D-Kettengewirkes kaum beeinflussen.

Erste Überlegungen, eine komplette Isolationsschicht zum Abdichten des Textils zu erzeugen, stellten sich als ungeeignet heraus. Diese korrelieren nicht mit der Anwendung des Flügels. Ein komplett wasserdichter Flügel kann die Funktion der Flügelbewegung in Verbindung mit dem Tauchen nicht erfüllen. Der luftgefüllte Flügel würde zu viel Auftrieb erzeugen. Aus diesem Grund wird nach anderen Materialien für die elektrischen Leitungen gesucht. In Punkt II.1.4.5 wird detailliert auf die Auswahl der elektrischen Leiter eingegangen. Zur Auswahl stehen einige Varianten von isolierten elektrischen Leitern. Da diese aber einen Querschnitt von > 0,7 mm aufweisen, sind diese für die Verarbeitung auf der RD 7 nicht geeignet.

Die Anforderungen an die bionische Roboterhaut haben sich dahingehend in der laufenden Projektarbeit geändert, dass die textile Roboterhaut direkt vom Wasser durchströmt werden muss. Somit steht die Technologie, unisolierte, leitfähige Fadenmaterialien zu vermaschen, für die weitere Bearbeitung des Projektes nicht zur Verfügung.

Als alternative textiltechnologische Möglichkeiten, das gewirkte Grundmaterial, das alle gewünschten Anforderungen erfüllt, mit elektrischen Leitungen zu bestücken, wird die Sticktechnologie untersucht.

II.1.4.6.3 Sticktechnische Einarbeitung elektrisch leitfähiger Strukturen

Die Sticktechnologie ermöglicht den Einsatz unterschiedlichster Fadenmaterialien im Oberfaden- und Unterfadenbereich sowie verschiedenster Stoff- und Strukturqualitäten im Stickgrund. Des Weiteren gibt es auch die Möglichkeit, textiluntypische Materialien wie z. B. Draht zu verarbeiten. Mit einer zusätzlichen Verlegeeinrichtung werden im konventionellen Bereich Schmuckfäden wie beispielsweise Kordeln, Effektgarne oder Bänder zur Verschönerung von zu bestickenden Textilien aufgebracht. Das Ansticken mit dem 3-Faden-System (Abbildung 33) erfolgt ähnlich wie bei der klassischen Sticktechnologie im Zweifadensystem. Die Besonderheit ist hier, dass das dritte Fadensystem nach dem Stickprozess auf der Stickgrundoberseite verbleibt. So werden bspw. funktionelle fadenähnliche Längsgebilde mit dem Sticknen auf eine textile Fläche aufgebracht.

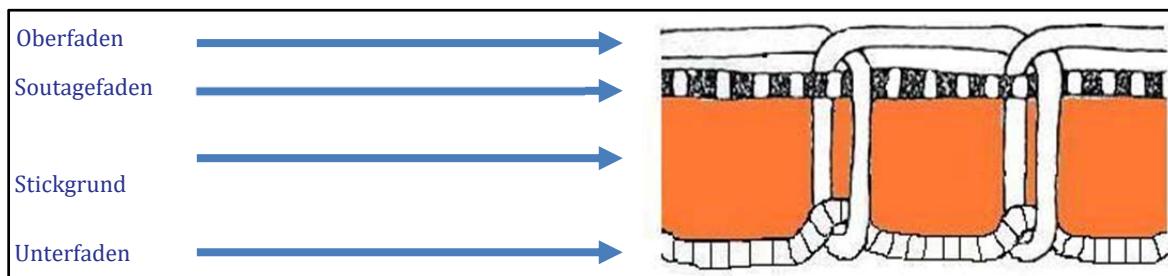


Abbildung 33: Funktionsprinzip – Ansticken im 3-Faden-System

Die teilweise farbigen sogenannten Soutagefäden im konventionellen Bereich bestehen hauptsächlich aus flexiblen textilen Materialien. Die Soutageverlegung ermöglicht es aber

auch, neben rein textilen Substraten funktionsintegrierte Fadenmaterialien wie beispielsweise textile elektrische Leiter, Kohlenstofffasern oder Lichtleitfasern zu verarbeiten. Je nach Maschinentyp und Bauweise sind die dafür genutzten Zuführvorrichtungen konstruktiv verschieden. Das Prinzip basiert auf zwei wesentlichen Schritten:

1. Die Soutagefäden werden auf eine Rolle (Abbildung 34) aufgewickelt und über die Verlegeeinheit auf dem Textil der Sticknadel vorgelegt und positioniert (Abbildung 35).

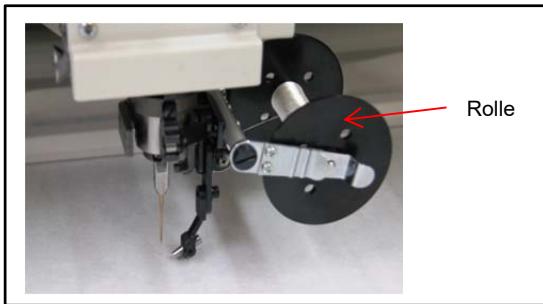


Abbildung 34: Verlegeeinheit Fa. TAJIMA GmbH

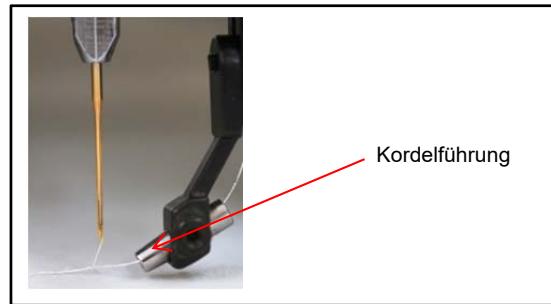


Abbildung 35: Detailansicht der Verlegeeinheit

2. Anschließend werden die Soutagefäden mit dem 3-Faden-System (Abbildung 34) auf dem Stickgrund fixiert. Die Kordelführung (Abbildung 35) wird während des Anstichprozesses von rechts nach links und umgekehrt gelegt und der Soutagefaden mit einem Zick-Zack-Stich befestigt (Abbildung 36).



Abbildung 36: Soutagefäden mit Zick-Zack-Stich

Im TITV Greiz steht für die Untersuchung die Mehrkopfstickmaschine der TAJIMA GmbH zur Verfügung (Abbildung 37). Das Stickfeld ist auf 90 cm x 120 cm begrenzt. Die Stickuntergründe werden in einen Metallrahmen eingespannt und in horizontaler Ebene bestickt. Einer der Vorteile der Stickerei gegenüber anderen textilen Technologien besteht darin, dass freie Geometrien im Design möglich sind. Dieser Vorteil wird auch bei der Verlegung der leitfähigen Fäden mit der Stickmaschine genutzt. Eine zunehmende Anwendung für die Herstellung technischer Textilien wie beispielsweise Verlegung von Leiterbahnen, Aufbringen von SMD-Bauteilen durch die FSD™-Technologie oder Verstärkungsstrukturen im Fahrzeugbau ist zu beobachten.



Abbildung 37: Mehrkopfstickmaschine Fa. TAJIMA GmbH

In den folgenden Verstickbarkeitstests wird die Roboterhaut aus elastischen 3D-Kettengewirken durch das Aufbringen von Sensoren, Funktionsmodulen und Zuleitungen funktionalisiert. Auf der Mehrkopfstickmaschine der TAJIMA GmbH wird die textile Roboterhaut dazu mittels Soutageverlegung mit textiluntypischen, ummantelten Drahtmaterialien bestickt.

Verstickbarkeitstests

Nach der Modifizierung der Stickmaschine erfolgen Verarbeitungstests der Drahtmaterialien. Das hochelastische 3D-Kettengewirke, welches als Stickgrund fungiert, erfordert eine zusätzliche Fixierung über ein Klebevlies, welches sich rückstandslos nach dem Stickprozess vom Textil lösen lässt. Dieser Hilfsstickgrund ermöglicht ein gleichmäßiges Aufspannen elastischer Materialien in den Stickrahmen. Auf Grund der Biegesteifigkeit des verwendeten Drahtmaterials kann im ersten Versuch die vorgegebene mäanderförmige Kontur mit typischen Einstellungsparametern (Stichdichte, Stichbreite, Abstand, maximaler Biegeradius) nicht erzielt werden. Durch die Krafteinwirkung der Nadeln im Stickprozess kommt es außerdem zu zufallsbedingten Schädigungen einzelner Drahtummantelungen. Eine Minimierung der Beschädigung und eine genauere Umsetzung der Verlegeform werden mit Anpassung einzelner Parameter erzielt.

Üblicherweise erfolgt die Fixierung des Soutagefadens mit einem Abstand von 1,5 mm von Stich zu Stich (Abbildung 38). Das bedeutet, dass die Nadel erst nach 1,5 mm den Soutagefaden an der Verlegestelle mit dem textilen Untergrund verbindet. Die Schwierigkeit beim Verlegen des Drahtmaterials besteht darin, dass dieses über eine hohe Biegesteifigkeit verfügt und seine Position an der Verlegestelle ändert, bevor es von der Nadel fixiert werden kann. Der Draht folgt nicht der vorgegebenen Form und wird von der Nadel beschädigt.



Abbildung 38: Verlegung unterschiedlicher Materialien bei gleichen Stichabstand und Mäanderauslenkung
a) ELITEX® I; b) Drahtmaterial

Deshalb wird der Stichabstand auf 0,5 mm verringert. Der Draht wird in kürzeren Intervallen und einer höheren Stichanzahl mit dem Stickgrund verbunden. So entsteht eine stabilere Verbindung zum Untergrund und eine genauere Umsetzung der Verlegeform auch in unterschiedlicher Mäanderauslenkung (Abbildung 39).

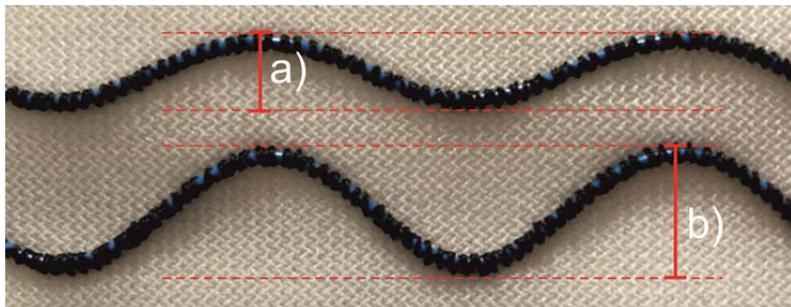


Abbildung 39: Verlegung Drahtmaterial mit gleichen Stichabstand von 0,5 mm und unterschiedlicher Mäanderauslenkung a) 5 mm und b) 10 mm

Mustererstellung

Die Designerstellung der gewünschten Sensorspule erfolgt nach Abschluss der Verstickbarkeitsuntersuchung am CAD-System der Stickmaschine (Abbildung 40). Die Form der Sensorspule orientiert sich an den äußeren Konturen des Schnittbildes der Sensorhaut für den Roboterflügel. Die Verlegung der Drahtmaterialien erfolgt in einer mäanderförmigen Wellenstruktur, um die textile Elastizität zu erhalten und somit spätere Bewegungen des Flügels zu unterstützen bzw. überhaupt zu ermöglichen.

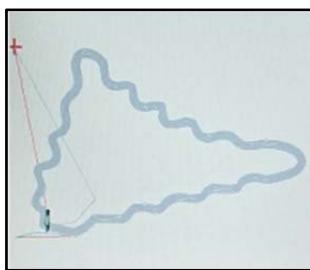


Abbildung 40: CAD-gestützt Zeichnung – Punchdatei für Sensorspule

II.1.4.7 Konfektionsbetrachtungen

In diesem Arbeitsschritt wird der konstruktive Aufbau der Roboterhaut bezüglich der konfektionstechnischen Verarbeitung vom konstruktiven Aufbau bis zum Zusammensetzen der Schnittteile zu einem dreidimensionalen Produkt betrachtet. Erst durch die Schnittkonstruktion ist es möglich, aus einer kreativen Idee eine zweidimensionale Zeichnung zu entwickeln, die durch eine entsprechende Weiterverarbeitung, wie z. B. das Zuschneiden und das Zusammennähen ein dreidimensionales Erzeugnis entstehen lässt.

Erste konstruktive Betrachtungen und Ergebnisse werden bereits in der Konzeptentwicklung (siehe Punkt II.1.2) erarbeitet. Mit der Konkretisierung der Anforderungen an die Außenhaut wird die schnitttechnische Gestaltung kontinuierlich überarbeitet und angepasst.

Dabei kommt der Auswahl des textilen Materials eine besondere Bedeutung zu. Die definierten Anforderungen der textilen Hülle, die bereits in den Aufbau der Materialien Berücksichtigung gefunden haben, müssen jetzt in die Konfektionierung übertragen werden. Wie bereits dargestellt werden dreidimensionale elastische 3D-Kettengewirke gefertigt. Die gemäß den Anforderungen entwickelten elastischen 3D-Kettengewirke stellen besondere Herausforderungen an die konfektionstechnische Verarbeitung.

Für die Konfektionierung der Roboterhaut werden sowohl Untersuchungen zum Trennen, also dem Zuschneiden der zu verarbeitenden Materialien, als auch dem Fügen, dem Zusammennähen der Schnittteile, durchgeführt. Anschließend werden die gefertigten Nahtproben textilphysikalischen Prüfungen unterzogen.

Vorversuche dienen zum einen dazu, die Eignung der Fertigungsverfahren und die damit verbundenen Qualitätsparameter zu erfassen, zu analysieren und zu bewerten. Andererseits werden erste Prozessparameter ermittelt, die die Basis für die folgenden großtechnischen Versuche sind.

Alle Versuchsvarianten werden einer visuellen Prüfung unterzogen, um festzustellen, inwie weit die Naht- bzw. Fügequalität den Anforderungen entspricht. Ist die Nahtoptik, das optische Erscheinungsbild, ausreichend, werden Prüfungen zur Nahtausreißfestigkeit und Berstfestigkeit der Nähte durchgeführt.

Bei der Fertigung der sensorisierten Roboterhaut werden hohe Qualitätsansprüche an die Verarbeitung der Erzeugnisse gelegt. So werden im Vorfeld einige Versuche zur Nahtkonstruktion durchgeführt (Abbildung 41).

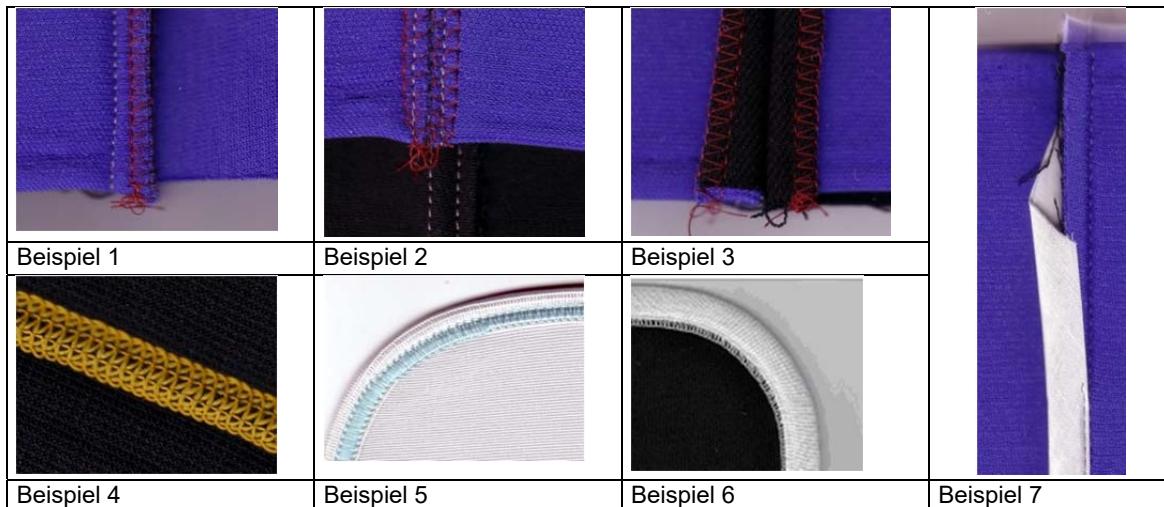


Abbildung 41: Nahtvarianten

Die Nahtvarianten (siehe Abbildung 41) entstehen auf dem Maschinenbestand des Konfektionslabors im TITV Greiz. Es werden Nahtarten gewählt, die den Anforderungen an die Roboterhaut wie Festigkeit und Flexibilität, aber auch für den Schutz der Schnittkanten gegen Ausreißen oder Ausfransen entsprechen. So ist in Beispiel 1 bis 3 eine Doppelsteppstichnaht mit Kantenversäuberung mittels Überwendlichstich in unterschiedlichen Ausführungen abgebildet. Beispiel 4 zeigt eine sehr flache Naht, die mit einer Überdeckstichnaht ausgeführt wird. In den Beispielen 5 bis 7 werden unterschiedliche Kantenversäuberungen getestet. Das Einfassen der Nahtkante mit einem unelastischen Paspelband wie in Beispiel 7 ist in diesem Fall nicht geeignet.

Für den vorliegenden Einsatzzweck eignen sich dehbare, elastische Nähte. Die ersten Testmuster werden mit einer 5-Faden-Überwendlichstich-Nähmaschine verarbeitet. Bei der Nahtgestaltung handelt es sich um eine 2-teilige Sicherheitsnaht, bei der mit einem Doppelkettenstich die Lagen verbunden werden. Gleichzeitig werden die Kanten mit einer Überwendlichkettenstich-Naht versäubert (Abbildung 42). Der Vorteil dieser Nahtkonstruktion liegt in der Elastizität und Haltbarkeit der Verbindung der Materialien.



Abbildung 42: Beispiel einer 5-Faden-Sicherheitsnaht bestehend aus Doppelkettenstich und 3-Faden-Überwendlichkettenstich (<https://blog.bernina.com/de/2013/02/stiche-uber-stiche-die-verschiedenen-Overlockstiche>, 15.02.2018)

Für die Verarbeitung der Fügenähte wird der Doppelsteppstich eingesetzt. Für Versäubерungsähnle wird ein Überwendlichkettenstich gewählt. (Abbildung 43)

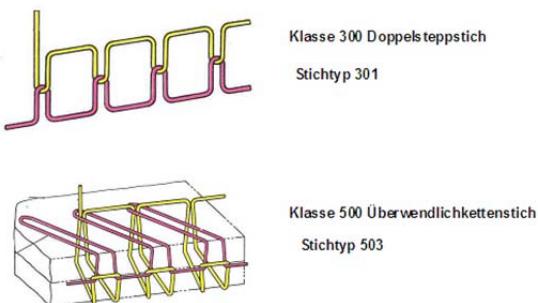


Abbildung 43: Schematische Darstellung der Stichtypen (Fachwissen Bekleidung, 1993, S. 163)

Des Weiteren werden die Verbindungsstellen der Roboterhaut ultraschallverschweißt. Die angefertigten Nähte zeigen, dass man für jedes Material individuelle Prozessparameter ermitteln muss. Die Naht-eigenschaften werden durch die Prozessparameter Schweißleistung, Spalt zwischen den Schneidwerkzeugen, Schweißwerkzeuggeometrie, Vorschubgeschwindigkeit und Schweißdruck beeinflusst. Für die kleintechnischen Vorversuche kommt die kontinuierlich arbeitende Ultraschallschweißmaschine Pfaff 8312 zum Einsatz.

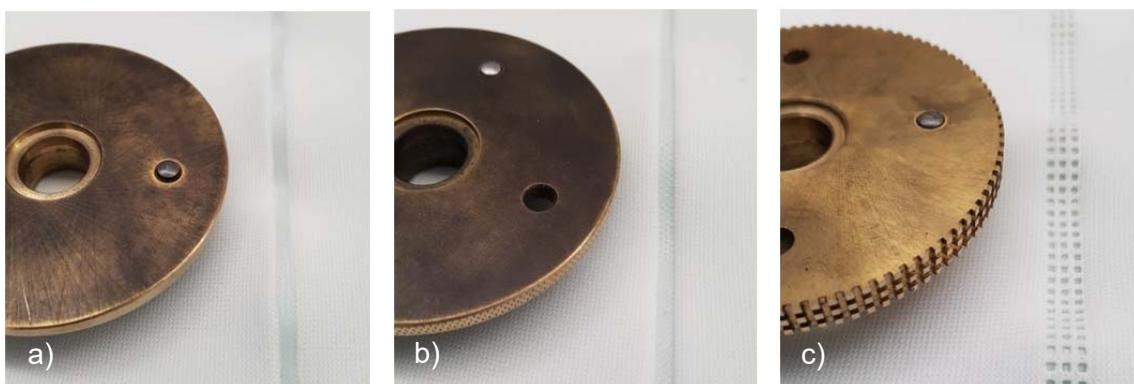


Abbildung 44: Nahtbild nach Ultraschallschweißen mit verschiedenen Ambossrädern

Das Trennen und Fügen des 3D-Kettengewirkes ist mit einer kontinuierlich arbeitenden Ultraschallschweißmaschine möglich. Das optische Ergebnis trifft aber nicht die gewünschten Anforderungen. Die Nähte zeigen ein sehr welliges Ergebnis. Eine gewisse Elastizität der Nähte konnte nur mit einer Variante des Ambosrades (Abbildung 44 c) erreicht werden. Da

beim Ultraschallschweißen die Materialien aufgeschmolzen werden, entsteht eine harte und unelastische Kante. Somit wird diese Technologie als ungeeignet bewertet. Da im Projekt nur wenige Zuschnitte notwendig sind, kommt der manuelle Zuschnitt zum Einsatz.

II.1.5 Aufbau der Bionischen Sensorhaut und Integration in die Anwendungsplattformen

Wie in der Konzeptentwicklung dargestellt, besteht die geplante sensorische Roboterhaut aus einer einlagigen Funktionsschicht. Da sich im Projektverlauf diese theoretischen Betrachtungen als ungeeignet herausgestellt haben, wird nach anderen Lösungen gesucht.

Das Projektteam hat aus diesem Grund den Aufbau der Roboterhaut für beide Anwendungsszenarien geändert. Die ursprünglich geplante komplexe Sensorhaut wird in zwei Funktionsschichten unterteilt. Die sensorisch/elektronischen Funktionselemente werden auf einer Innenhaut (siehe Abbildung 45) angeordnet. Die Außenhaut übernimmt die Anforderungen an den Strömungswiderstand in den unterschiedlichen Bereichen des Mantaflügels und bietet einen mechanischen Schutz der innenliegenden Funktionselemente. Durch diesen Aufbau wird der Austausch von defekten Funktionselementen zwischen zwei Tauchgängen möglich.

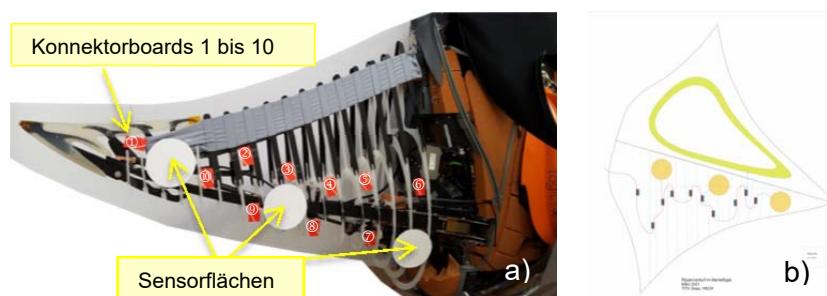


Abbildung 45: Theoretische Betrachtung zur Lage der Elektronikmodule
a) am Originalmodell; b) Übertragung auf ein Schnittteil

Die Auslegung der Antennenspule für das Georadar wird mit den Projektpartnern abgestimmt. Richtwerte dafür stellt der Projektpartner Sensorik Bayern GmbH zur Verfügung. Auf Grund der zu erwartenden Reichweite und der Empfindlichkeit der Antennenspule wird diese auf die Unterseite der Robotikplattform aufgebracht. Bei einem Widerstand von $< 6 \Omega$ und einer Induktivität vom $100 \mu\text{H}$ ergibt sich eine Anzahl von 7 bis 10 Windungen je Spule und Seite. Die Spulengeometrie wird an die Außenkontur des Flügels angepasst (Abbildung 46).



Abbildung 46: Auslegung der Antennenspule für das Georadar für erste Testzwecke
bei Projektpartner Sensorik Bayern GmbH

Des Weiteren werden die unten aufgeführten Sensoren in die Oberseite der funktionellen Roboterinnenhaut integriert:

- Berührungsdetektoren
- Beschleunigungssensoren
- LED Modul

- Drucksensoren

Für die Verbindung der einzelnen Sensormodule und Spulen wird eine flexibler „Kabelbaum“ aufgebaut. Die Verlegung richtet sich nach der Anzahl und der Position der einzelnen Elemente. In Vorversuchen wird der Aufbau hinsichtlich der Lage der Leiterbahnen getestet. Es werden sticktechnisch sechs parallel liegende Drahtlitzen mit einem Abstand von 2,7 mm mäanderförmig verlegt (Abbildung 47 und 48). Als Drahtmaterial wird der Art. LIH-T120 0,14 mm² eingesetzt.

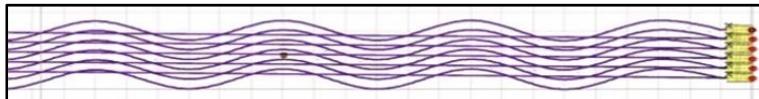


Abbildung 47: CAD-gestützte Zeichnung – Punchdatei des Kabelbaumes



Abbildung 48: Gestickter Kabelbaum, erste Muster

In weiteren Evaluierungsschritten wird die Verlegung der flexiblen elektrischen Leiter dem endgültigen Schaltungs- und Schnittlayout angepasst (siehe Abbildung 49).

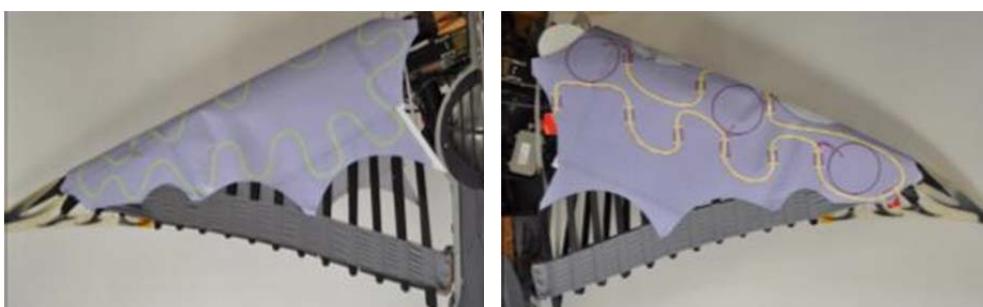


Abbildung 49: Schematische Zeichnung zur Anordnung der Funktionselemente auf der Innenhaut, Unterseite links, Oberseite rechts

Für die kapazitiven Berührungssensoren werden in Abstimmung mit dem Projektpartner Sensorik Bayern GmbH verschiedene Designvarianten erarbeitet (Abbildung 50). Die Variante c) zeigt die besten Ergebnisse und wird in das finale Design der Roboterhaut integriert.

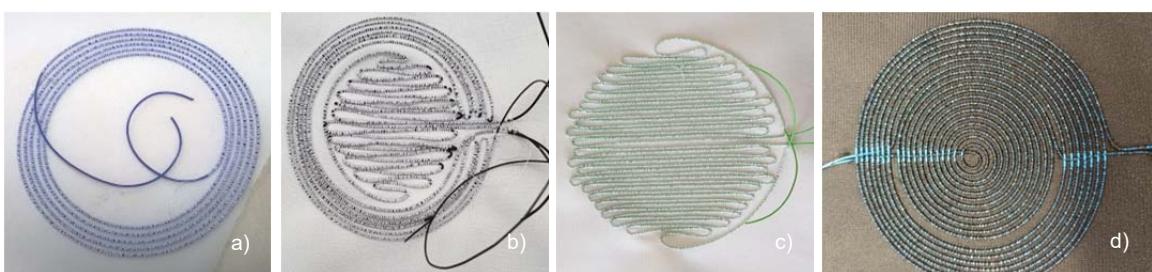


Abbildung 50: Designvarianten zur Umsetzung der kapazitiven Berührungssensoren

Zur Erreichung der gewünschten Funktionalität ist es erforderlich, die elektronischen Komponenten in verschiedenen Bereichen des Flügels zu verteilen und diese elektrisch zu verbinden.

Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Zuführung der Leiterbahnen zum Elektronikmodul (siehe Abbildung 51 bis 53). Die Verlegung ist so gewählt, dass eine Zugentlastung zwischen Leiterbahn und Modul entsteht. Wie in Abbildung 53 zu sehen ist, verlaufen die Leitungen in einem Bogen von etwa 90° zum Elektronikmodul. Der Vorteil dieser Verlegung besteht darin, dass beim Dehnen der sensorischen Roboterhaut keine Zugbeanspruchung auf das Elektronikmodul entsteht und es nicht zum Abreißen/Ausreißen der Leitungen kommt.



Abbildung 51: Gerade Zuführung der Leiterbahn zum Elektronikmodul

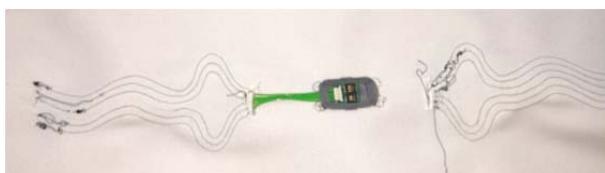


Abbildung 52: Bogenförmige Verlegung der Leitungen, dies ist noch nicht ausreichend und der zur Verfügung stehende Platz auf dem gesamten Flügel zu gering



Abbildung 53: Verlegung der Leiterbahn im Winkel von ca. 90° zum Elektronikmodul

Für erste Funktionstests werden nur Teilbereiche der funktionellen Innenhaut hergestellt, kontaktiert und getestet (siehe Abbildung 54).



Abbildung 54: Teilbereiche der funktionellen Innenhaut

a) Unterseite; b) Oberseite mit textilem Kabelbaum und kapazitiven Berührungsensoren

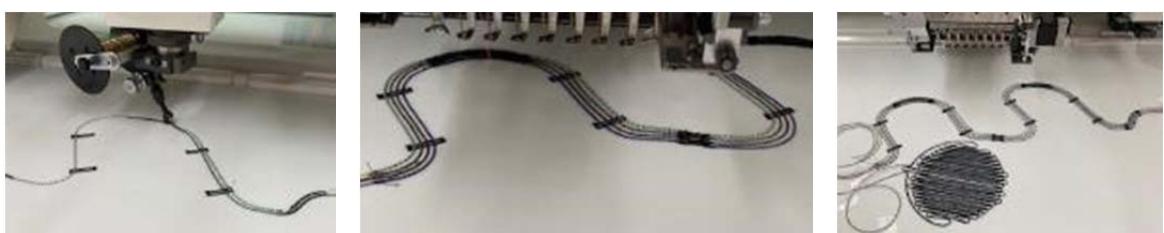


Abbildung 55: Detaildarstellung des Stickprozesses

Die Modulgehäuse mit den Konnektorboards werden in einem nächsten Schritt aufgestickt und kontaktiert (siehe Abbildung 56).

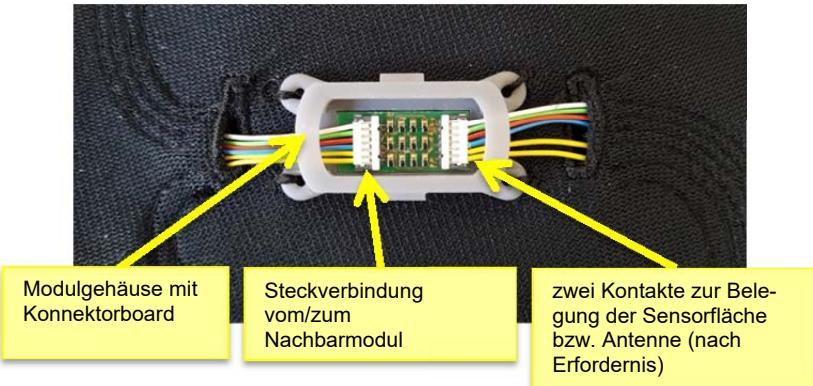


Abbildung 56: Kontaktierung des Konnektorboards

Dieses Funktionsmodul wird an die Projektpartner versendet, um die Modulrahmen mit den Konnektorboards wasserdicht zu verkapseln. Im Wasserbecken bei der Fa. EvoLogics werden die Module auf Wasserdichtheit getestet (siehe Abbildung 57).



Abbildung 57: Test der funktionalisierten Roboterhaut
a) im Wasserbecken, b) „Passformkontrolle“ zur Lage der Funktionsmodule

Für das Anwendungsszenario Dachs werden ebenfalls Designvarianten der Funktionselemente erstellt und gestickt. Das Design der Spule in Abbildung 58 b) liefert die besten Ergebnisse beim Funktionstest.



Abbildung 58: Designvarianten für Funktionselement Anwendungsszenario Dachs

Für den finalen Abgleich der Anforderungsprofile werden die Erkenntnisse zum Aufbau der Roboterhaut von allen Projektpartnern analysiert und es wird festgelegt, mit welchen textilen Technologien die Roboterhaut für die beiden Anwendungsszenarien „Manta“ und „Dachs“ final aufgebaut wird.

Folgende Ergebnisse werden festgelegt:

1. Die Roboterhaut wird als 3D-Kettengewirke auf einer Rechts/Rechts-Doppelraschelmaschine RD 7 gefertigt.
2. Die Verlegung der elektrischen Leiter für Sensorspulen, kapazitiven Berührungs-sensoren und flexiblen Kabelbaum erfolgt mittels Stickmaschine mit der Verlegeeinheit
3. Der Aufbau der Roboterhaut für den Manta besteht aus zwei Funktionsschichten:
 - a) Schicht 1 – sensorisch funktionalisierte Innenhaut (siehe Abbildung 59 a)):
 - Trägerschicht der Funktionselemente
 - textile Trägerstruktur – 3D-Kettengewirke Art. 120200
 - elektrische Leiterbahnen für das Bussystem, die Spulen für Berührungssenso-ren und für die Magnetfelddetektion – Kabeltronik LiH-T120
 - Befestigung der Modulrahmen mit Konnektorboards mittels Sticktechnik
 - Modulrahmen werden zwischen die Rippen des Mantas platziert (siehe Abbil-dung 59 b))
 - Lage der Spule zur Metalldedektion – Flügelunterseite
 - Lage der Modulrahmen mit Konnektorboards – Flügeloberseite, innenliegend
 - b) Schicht 2 – Außenhaut, als Schutzschicht gegenüber Umgebungseinflüssen und zum Schutz der Funktionselemente (siehe Abbildung 59 c))
 - Material – 3D-Kettengewirke Art. 521 200
 - ohne Naht im „Schulterbereich“
4. Für die Einstellung des Strömungswiderstandes bzw. der Wasserdurchlässigkeit und der Dehnung bzw. Elastizität wird das Material schnitttechnisch so verarbeitet, dass Zonen mit unterschiedlicher Wasserdurchströmung entstehen.
5. Die Roboterhaut des Anwendungsszenario Dachs wird nach dem gleichen Prinzip aufgebaut. Die eingesetzten Materialien sind identisch. (siehe Abbildung 60)



Abbildung 59: Finale Roboterhaut Manta (Quelle: Fa. EvoLogics, Berlin)
a) Innenhaut; b) Modulrahmen mit Konnektorboards; c) Außenhaut



Abbildung 60: Finale Roboterhaut Dachs

II.1.6 Zuverlässigkeitssbewertung

II.1.6.1 Textilphysikalische Charakterisierung

Projektbegleitend werden textilphysikalische Untersuchungen zur Spezifikation der Fäden und der textilen Flächen durchgeführt. Im Rahmen der Fadenauswahl sind z. B. Fadenfestigkeit und Fadenfeinheit nach DIN EN ISO 2062, Höchstzugkraftdehnung und feinheitsbezogene Höchstzugkraft nach DIN 53834 geprüft worden.

Die verschiedenen Layouts der 3D-Kettengewirke, welche im Pilotmaßstab und Industriemaßstab hergestellt werden, werden sowohl als Rohware als auch als veredelte Fertigware u. a. hinsichtlich:

- Flächenmasse nach DIN EN 12127;
- Maschendichte nach DIN EN 14971;
- Dicke nach DIN EN ISO 5084;
- Reibverhalten nach DIN EN ISO 8295;
- Festigkeit nach DIN EN ISO 13934-1;
- Elastizität nach DIN EN 14704-1

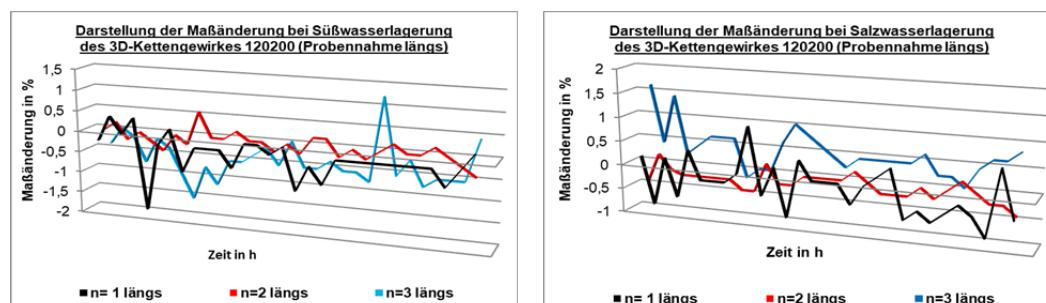
geprüft.

Das ist einerseits wichtig, um die spezifizierten Anforderungen an die bionische Haut zu gewährleisten und andererseits liefern die Prüfwerte wichtige Vorgaben für die Übertragung nachfolgender Prozesse, wie z. B. der Veredelung vom Pilotmaßstab in den Industriemaßstab.

Es werden ausgewählte Prüfungen vor und nach dem Beschichten des 3D-Kettengewirkes durchgeführt um zu prüfen, dass die spezifizierten Anforderungen an die bionische Haut auch nach dem nachgelagerten Prozess gewährleistet sind. So wurde eine Alterung mit einem mit Polyurethanfolie beschichtetem 3D-Kettengewirke simuliert. Dafür ist der Prüfling in eine Natriumchlorid-Lösung von 1 % bei 50 °C über 7 Tage eingelegt und mechanisch beansprucht worden. In der Beurteilung der Oberflächenstruktur ist keine Beschädigung oder Blasenbildung festgestellt worden.

Eine andere im Rahmen der Projektbearbeitung durchgeführte Prüfung gibt Aufschluss über die Maßänderung der bionischen Haut bei Kontakt mit Süßwasser und Salzwasser. Dazu ist in Anlehnung an die DIN EN ISO 5077 folgender Versuch durchgeführt worden:

Es werden von den verschiedenen Varianten der 3D-Kettengewirke je 3 Streifen von 500 mm Länge (Messproben längs und quer zur Maschenstäbchenrichtung) geschnitten. Die Länge der Streifen wird bestimmt und anschließend werden die Streifen 30 h bei einer Temperatur von 22 °C einerseits in Süßwasser und andererseits in Salzwasser gelagert. In Intervallen von einer Stunde wird die Maßänderung der Proben im Wasserbad gemessen. Exemplarisch für ein 3D-Kettengewirke ist dies in folgender Grafik dargestellt.



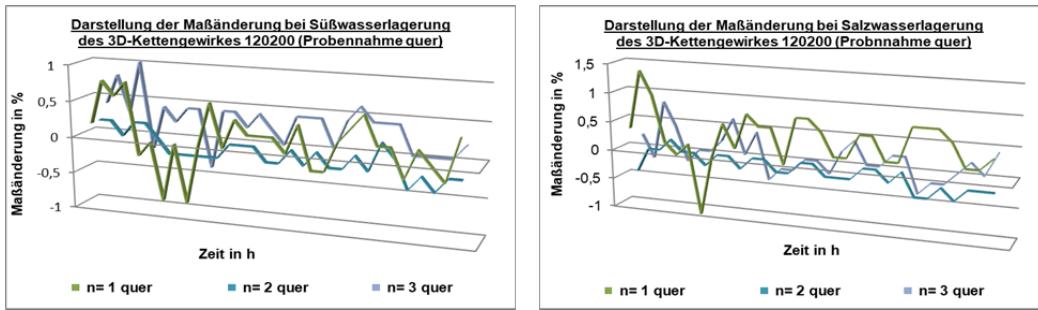


Abbildung 61: Darstellung der Maßänderung des 3D-Kettengewirkes 120200 im Süßwasser und im Salzwasser

Nach Auswertung verschiedener 3D-Kettengewirkelayouts können folgende Rückschlüsse gezogen werden:

- Maßänderung verschiedener 3D-Kettengewirkelayouts sehr ähnlich
- Maßänderung Süßwasser Probennahme längs: bis -0,6 %
Probennahme quer: bis 0,6 %
- Maßänderung Salzwasser Probennahme längs: bis 0,8 %
Probennahme quer: bis -0,4 %

Für die Konfektion bedeutet dies, dass keine zusätzlichen Anpassungen in Längs- und Querrichtung bei der Anfertigung des Schnittes notwendig sind.

Für die Standzeit der bionischen Haut aus dem 3D-Kettengewirke ist damit nachgewiesen, dass diese für den angestrebten Gebrauchszeitraum dimensionsstabil sind.

II.1.6.2 Elektrische Tests / Funktionstests Einzelemente

Die elektrischen Tests werden auf zwei Hauptaspekte fokussiert: Zum einen auf die leitfähigen Fäden, welche zur Strom- und Datenübermittlung eingesetzt werden und zum anderen auf die Isolationsschichten, welche die Elektronik vor Umwelteinflüssen schützen. Im Rahmen der Tests ist eine Methode zur Einlagerung der elektrisch leitfähigen Textilstruktur in Salzlösung mit Indikatorflüssigkeit und optischen Auswertung der Isolationsdefekte entstanden. Bei der Wärmealterung in Salzwasserlösung mit Isolationsevaluation durch Pin-Hole-Prüfung werden Drahtproben zur elektrischen Strom- und Signalleitung in Anlehnung an die DIN 53508 in Salzwasser länger als 40 Tage wärmegelagert. Die Probenlänge beträgt 1 m, die Drahtproben werden in einem Prüfzyklus von 4 Tagen auf Beschädigung der Isolation in Anlehnung an die Pin-Hole-Prüfung DIN EN 60851-5 geprüft.

Nach ersten Aufbauten und Tests gestickter Spulen werden unter anderem die in Tabelle 9 (Punkt II.1.4.5) aufgeführten, für das Anwendungsszenario geeigneten isolierten, elektrischen Strom- und Signalleitungen geprüft.

Dazu wird eine 1 m lange isolierte, elektrische Leiterprobe in eine Kreisform gewickelt. Anfang und Ende werden 20 cm herausgeführt und die Kontakte verlötet. In einem Becherglas mit Salzlauge (Salzgehalt 1 %, Flottenmenge 500 ml) findet über die Dauer von 40 Tagen eine Lagerung bei 70 °C statt (beschleunigte Alterungsbedingung). Wie in Abbildung 62 zu sehen, ragen die Anschlussenden aus der Lösung heraus.

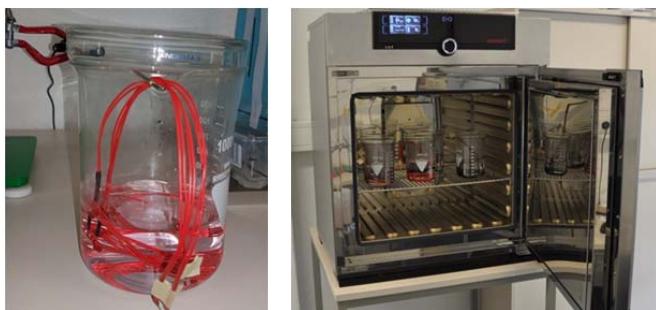


Abbildung 62: links: Becherglas mit einer isolierten, elektrischen Leiterprobe
rechts: Wärmelagerung der Leiterproben im Memmert Universalofen UF110

Jeweils nach 4 Tagen werden die Proben einer elektrischen Isolationsprüfung (sog. Pin-Hole-Prüfung) unterzogen. Dazu wird jeweils der Draht in eine elektrolytische Natriumchlorid-Lösung mit darin gelöstem Phenolphthalein-Indikator getaucht. Diese Pin-Hole-Lösung ist mit einer Elektrode versehen, der Leiter des Drahtes ist die Gegenelektrode. Diese Elektroden werden an eine Spannungsquelle mit 12 V Gleichstrom angeschlossen und somit eine Elektrolyse des Wassers gestartet. Durch Bläschenbildung (Wasserstoff und Sauerstoff) und typische pinkfarbene Wirbel aufgrund einer pH-Wert Änderung in der Prüflösung wird der Nachweis von (winzigen) Isolationsdefektstellen optisch möglich. Gleichzeitig ist ein Stromfluss messbar. Die Prüfspannung wird für 1 min angelegt, wobei der Prüfling gegenüber der Lösung als negative Elektrode wirkt.



Abbildung 63: Drahtprobe bei angelegter Prüfspannung in der Phenolphthalein Lösung

Nach 80 Tagen werden die isolierten, elektrischen Leiter abschließend durch die Pin-Hole Prüfung überprüft, es haben sich nach dieser Zeit keine Ausfälle ergeben. Durch die Prüfung wird für einen angestrebten Nutzungszeitraum von mindestens 3 Jahren nachgewiesen, dass alle der ausgewählten Kupferlitzen eingesetzt werden können, da die Isolationsmaterialien der Leiterbahnen gegenüber Salzwasser beständig sind. Im weiteren Verlauf ist die Methode durch ein Kamerasystem erweitert worden, welche einen automatisierten Testablauf erlaubt und in der Lage ist, kleinste Leckagen im Rahmen der Kameraauflösung zu detektieren.

II.1.6.3 Elektrische Tests – Funktionstests Einzelmodule

Während die bisherigen Prüfungen wesentliche Parameter zur Einschätzung der Verarbeitungseigenschaften und der Stabilität eingesetzter Materialien und Lagenaufbauten liefern, werden nun kombinierte Prüfungen aus einer Belastung und dem dazugehörigen Funktionsmonitoring durchgeführt. Im Falle der Roboterhaut sind dies vor allem mechanische Belastungen, also die zyklische Bewegung der eingesetzten Materialien. Exemplarisch soll dies an den Proben der isolierten, elektrisch leitfähigen Leiterbahnen gezeigt werden, welche nach der Lagerung in Salzlösung bereits hinsichtlich der Stromtragfähigkeit und Dichtheit der Isolierung geprüft worden sind. Für die Prüfung wird von den sechs Draht-Prüflingen jeweils ein

Prüfling entnommen und einer Flexprüfung auf einem sogenannten Flexomat unterzogen. Es finden eine Zug-, Rotations- und Biegebeanspruchung zeitgleich statt. Dazu wird ein schlaufenförmiger Prüfling an zwei sich gegenüberliegenden Stellen eingespannt.

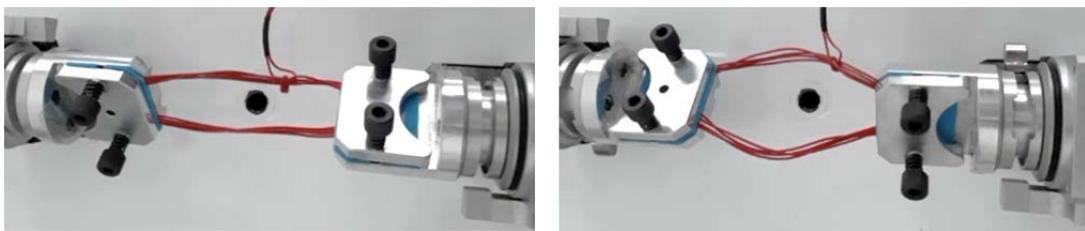


Abbildung 64: Darstellung der Flexomat-Prüfung mit eingespanntem Prüfling
(jeweils links und rechts befindet sich ein Aktuator-Motor)

In der Abbildung 64 links wird der Probenkörper unter leichter Zuglast in eine Richtung gedreht, in der Abbildung 64 rechts wird dieser ohne Zug in die andere Richtung gedreht. Die Bewegungsamplitude des Flexomaten beträgt in Zugrichtung (Linearbewegung) $\pm 3,5$ mm bei einer Rotation von jeweils $\pm 45^\circ$. Es ergibt sich eine leicht gedehnte Bewegung zu einem gebogenen Oval, wie in Abbildung 64 dargestellt.

Durch eine abschließende Prüfung nach dem Belastungstest wird festgestellt, dass auch die bereits mehrere Stunden in Salzwasser gelagerten isolierten, elektrischen Leiterbahnen der mechanischen Belastung standhalten und insbesondere die Isolationsmaterialien keine Leckagen aufweisen.

Die Untersuchung zur Haltbarkeit der kontaktierten Modulrahmen und die Prüfung der Funktionalität der erstellten Funktionsmodule erfolgt im Smart Textiles-Labor mit den aus der Textiltechnik bekannten Prüfmöglichkeiten der Akkreditierten Prüfstelle in Kombination mit den Prüfgeräten aus der Elektrotechnik. Dafür stehen modifizierte Prüfgeräte und hauseigene Prüfmethoden für Smart Textiles zur Verfügung.

Die gestickten Busstrukturen werden mit den Modulrahmen mit Konnektorboards funktionsfähig ausgestattet.

Mit diesem Aufbau wird die zuverlässige Kontaktierung unter Beanspruchung geprüft.

Für die Untersuchungen sind folgende Prüfungen festgelegt und durchgeführt worden:

Knickbruchtest

Bei diesem Test werden die Funktionsmodule – kontaktierte Konnektorboards – wie in Abbildung 65 zu sehen ist, eingespannt und mit einem vordefinierten Hub gestaucht und wieder auseinander gezogen. Nach einer definierten Anzahl von Zyklen erfolgt ein Funktionstest.



Abbildung 65: Knickbruchtest mit eingespanntem Prüfling

Flexomat-Prüfung

Bei dieser Prüfung wird ein im Gebrauch typisches Verdrehen, Biegen und Ziehen der Funktionsmodule nachgestellt. Dies erfolgt nach einer definierten Zyklanzahl. Anschließend wird die Funktionsfähigkeit der Module getestet.



Abbildung 66: Flexomat mit eingespanntem Prüfling

Reibung

Als klassisches Prüfgerät für Textilien kommt bei diesem Test das Martindale-Scheuerprüfgerät zum Einsatz (siehe Abbildung 67 a)). Der Prüfling wird durch Reibung beansprucht und dessen Funktionsfähigkeit während und nach der Belastung aufgezeichnet. Da aber die Proben, wie bspw. die Sensorspule, nicht ohne Beschädigung in den Prüfaufbau eingespannt werden können, ist eine Modifikation des Prüfaufbaus notwendig. Der Prüfling wird mittels Nadelleiste auf einen variablen Probentisch fixiert (siehe Abbildung 67 b und c)). Je nach Probengröße ist es möglich die Scheuerstempel in der Größe zu variieren.

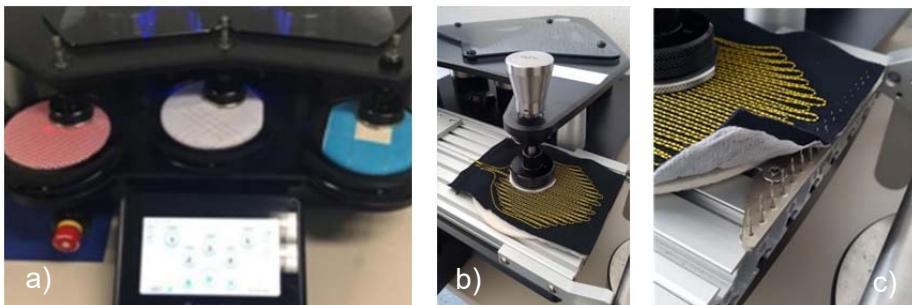


Abbildung 67: Martindale-Scheuerprüfgerät

Wie auch die einzelnen Leiterbahnen werden die geprüften Busstrukturen einem Pin-hole-Test unterzogen, um die Wasserbeständigkeit der Verbindungen zu prüfen.

II.2 Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der im Projektzeitraum erreichte Arbeits-, Zeit- und Ausgabenstand entspricht dem im Projektantrag und in der genehmigten kostenneutralen Verlängerung bis 30.10.2022 geplanten Umfang. (siehe Zuwendungsbescheid vom 10.12.2021)

Die finanziellen Mittel des Projektes liegen im Rahmen der geplanten Mittel.

II.2.1 Vergabe von Aufträgen

Auf Grund der angespannten Situation in den Wirtschaftsunternehmen in der Zeit der Corona-Krise können geplante Unteraufträge nicht vergeben werden bzw. sind alternative Lösungen gesucht worden. Dazu zählte u. a., dass Absprachen für Unteraufträge nicht im geplanten Zeitraum durchgeführt worden sind. Teilweise sind Lieferanten nicht erreichbar oder Bestellungen können nur mit längeren Warte- bzw. Lieferzeiten ausgelöst werden.

Die Umsetzung dieser Lösungen fordert eine intensivere Bearbeitung verbunden mit einem höheren Personaleinsatz, als im Projektantrag vorgesehen. Die Differenz für zusätzlich durchzuführende Aufgaben und Arbeitsinhalte können aus geplanten Mitteln für nicht benötigte Materialausgaben und aus einer Umwidmung der geplanten Drittleistung für die Flächenherstellung und Konfektionierung der sensorischen Roboterhäute finanziert werden. (siehe Zuwendungsbescheid vom 30.06.2020 und 10.12.2021)

II.2.1.1 Umrüstung einer Rechts/Rechts-Doppelraschelmaschine RD 7 von mechanischer auf elektronische/sequentielle Steuerung

Im Rahmen der Arbeiten erfolgt eine erneute Markterkundung und Marktübersicht bezüglich der Umrüstung einer Rechts/Rechts-Doppelraschelmaschine RD 7 von mechanischer auf elektronische/sequentielle Steuerung. Bei Gesprächen mit weiteren Anbietern der Dienstleistung, hat sich herausgestellt, dass der im Antrag berücksichtigte Anbieter My Textile Solutions LTD keine positiven Referenzen bei der Umrüstung von doppelbarrigen Rechts/ Rechts Raschelmaschinen vorweisen kann. Auch spezifische Anforderungen, welche auf Grund des damaligen Kenntnisstandes unverzichtbar sind, können von dem Anbieter nicht erfüllt werden.

Ausgedehnte Recherchen führen zu weiteren Anbietern für die benötigte Dienstleistung. Die, bei diesen abgeforderten Kosteninformationen lassen jedoch erkennen, dass die ursprünglich beantragten Kosten nicht ausreichen, um die Dienstleistung in Anspruch nehmen zu können. Aus diesem Grund ist beim Projektträger eine Aufstockung der finanziellen Mittel von 30.523,50 € netto beantragt worden. Nach positiver Bewilligung des Aufstockungsantrages im Juni 2020, wird der Unterauftrag zur Umrüstung der Rechts/Rechts-Doppelraschelmaschine RD 7 von mechanischer auf elektronische/sequentielle Steuerung im Zeitrahmen vom 20.07.2020 bis 07.08.2020 öffentlich ausgeschrieben und am 18.08.2020 bezuschlagt. Auf Grund der beschränkten Reisebestimmungen und der Einhaltung von Quarantänefristen ist der Umbau erst im Januar/Februar 2021 durchgeführt worden.

II.2.1.2 Unterauftrag Flächenherstellung – Wirkerei

Die im Pilotmaßstab erarbeiteten Varianten werden wie geplant als Drittleistungen (Unterauftrag Flächenherstellung) im Zeitrahmen vom 27.11.2020 bis 08.12.2020 beschränkt öffentlich ausgeschrieben. Von den angefragten fünf Unternehmen ist kein Angebot innerhalb der Angebotsfrist abgegeben worden. Das Verfahren wird aufgehoben, die Flächenherstellung im Industriemaßstab wird aus diesem Grund vom TITV Greiz selbst durchgeführt. Die für den Unterauftrag eingeplanten finanziellen Mittel in Höhe von 9.389,10 € brutto werden für Personalkosten genutzt.

Um die Voraussetzungen zur Herstellung eines Abstandsgewirkes mit einer Warenbreite von 1,30 m erfüllen zu können, muss die Maschinenanpassung, welche für die Schmalbreite (Arbeitsbreite von 21 Zoll) bereits umgesetzt wurde, auf eine Arbeitsbreite von 63 Zoll erweitert werden. Dafür ist es u. a. notwendig über die gesamte Arbeitsbreite die Hebel und Wirkwerkzeuge, den Nadelabschlag, den Nadeleinschluss und die Stechkämme der RD 7 auszutauschen, zu überprüfen (ggf. neu zu setzen) bzw. nachzustellen. Des Weiteren müssen weitere Fadenliefervorrichtungen über die gesamte Arbeitsbreite der RD 7 montiert werden.

Die thematische Änderung und die Änderung der Kostenstruktur bei der geplanten Drittleistung „Konfektion“ in eine Drittleistung „Anpassung der Hebel- und Wirkwerkzeuge“ ermöglicht dem TITV Greiz die Arbeitsaufgaben ohne inhaltliche Differenzen zum Arbeitsplan zu erfüllen.

Diese Änderung der geplanten Mittel erfolgt in Absprache mit dem Projektträger und wird im Zuwendungsbescheid vom 30.06.2020 bestätigt.

II.2.1.3 Unterauftrag – Veredlung

Die Veredelung von 3D-Kettengewirken mit partiell eingesetztem leitfähigem Fadenmaterial wird als Unterauftrag im Zeitrahmen vom 27.11.2020 bis 08.12.2020 beschränkt öffentlich ausgeschrieben.

Von den angefragten fünf Unternehmen wird ein leistungsfähiger und günstiger Bieter bezuschlagt. Die Textilausrüstung Pfand GmbH hat auf dem Gebiet der Veredlung von 3D-Kettengewirken ausreichende Erfahrungen und hat das günstigste Angebot abgegeben. Die Veredlung erfolgt nach den im Labormaßstab ermittelten Parametern.

II.2.1.4 Unterauftrag – Konfektion

Im Forschungsprojekt ist ein Unterauftrag für Konfektion in Höhe von 22.000,00 € brutto eingeplant. Diese Ausgaben werden nur zu einem geringen Teil benötigt und werden anteilmäßig umgeplant, in eine Drittleistung zur Anpassung der Hebel- und Wirkwerkzeuge der Doppelraschel RD 7 über die gesamte Arbeitsbreite, welche 11.250,00 € brutto beträgt.

Auch bei weiteren Beschaffungen, wie z. B. der Vergabe und Montage des Abrollgatters kam es auf Grund der besonderen pandemischen Situation 2020 in Deutschland zu zeitlichen Verzögerungen. Die Vergabe/Bezuschlagung des Abrollgatters erfolgt nach ordnungsgemäß durchgeföhrter Öffentlicher Ausschreibung an den einzigen Bieter, die Fa. E&M Eichler und Meurers Industrietechnik GmbH.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die im Bewilligungszeitraum durchgeföhrten Arbeiten im Projekt „Bionic RoboSkin“ sowie die dafür aufgewandten Ressourcen waren notwendig und angemessen, da sie der in der Teilverhabenbeschreibung formulierten Planung entsprachen und für die Erreichung des Forschungsziels notwendig waren. Die Erreichung der als Teilziele formulierten Meilensteine wurde durch eine Zielkoordination in gegenseitiger Abstimmung mit den Projektpartnern sichergestellt und erfüllt. Die Finanzmittel wurden entsprechend der Vorgabe des Bewilligungsbescheides bzw. der beantragten und vom Zuwendungsträger bewilligten Änderungen verwendet. Zur Erreichung der Projektziele wurde eine kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit beantragt und genehmigt.

Der Personalaufwand war angemessen und notwendig und erfolgte entsprechend den in der Teilverhabenbeschreibung ausführlich erläuterten Arbeitspaketen und Meilensteinen und deren bewilligten Planung. Die Zuwendung im Rahmen des Projektes wurde ausschließlich

zur Deckung der Personalkosten der am Projekt beteiligten Mitarbeiter sowie für bewilligte Sachkosten und Leistungen Dritter verwendet.

Die durchgeführten Projektberatungen und Kolloquien im TITV Greiz haben zur Erweiterung des internen wissenschaftlichen und technischen Kenntnisstandes beigetragen und ermöglichen diese angestoßenen Entwicklungen und Kooperationen konsequent fortzusetzen.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Textilien mit Spezialfunktion sind in vielen Anwenderbranchen weiterhin auf dem Vormarsch. In Deutschland prognostiziert die ZEW Kurzexpertise das Marktvolumen für Smart Textiles im Jahr 2022 auf 703 Mio. € mit dem steigenden Trend bis ins Jahr 2030 auf 4,2 Mrd. €.² Hier werden Wachstum und neue Produkte erwartet.

Die Herstellung von textilen Komponenten für technische Anwendungen wie den Einsatz in Wasser- und Anlagenbau stellt einen wichtigen Ansatzpunkt für neue Produkte dar. Die strukturellen Eigenschaften textiler Flächen können vielfältig variiert und abgestimmt auf den Anwendungsfall umgesetzt werden. Der Einsatz smarter textiler Materialien erfolgt erstmals mit integrierter Elektronik und Sensorik im Unterwasserbereich und kann als positives Signal gewertet werden.

In dem Teilvorhaben „Bionik RoboSkin“ sind im TITV Greiz textile Flächen entwickelt worden, die in Kombination mit der entwickelten Elektronik und Sensorik im Bereich der Geoexploration und der Unterwassererkundung für den Einsatz als sensorierte Roboterhaut weiter verarbeitet werden können. Mit der textilen Robotikhaut werden die flexiblen Eigenschaften genutzt, um kostengünstige auch andere Robotiksysteme ausstatten zu können. Für die Entwicklung und Fertigung der Sensorhaut ist der Materialeinsatz, die Herstellungstechnologie der textilen Flächen, aber auch die konfektionstechnische Verarbeitung bzgl. Eignung zur Funktionstüchtigkeit im Wasser, das Handling im Anwendungsfall sowie die Erprobung in der Praxis untersucht und erfolgreich eingesetzt worden. Die gewonnenen Ergebnisse, die im Rahmen des Projektes für den Aufbau textiler Sensorstrukturen erreicht worden sind, stehen für den zukünftigen Einsatz in autarken Robotikeinheiten zur Verfügung und sind auf den jeweiligen Anwendungsfall übertragbar. Der Prozess ermöglicht eine kostengünstige Umsetzung. Bei Interesse der Unternehmen werden weitere Lösungen für ihre individuellen Anforderungen und Einsatzgebiete in Folgeprojekten angeboten.

Für das TITV Greiz ist das Vorhaben mit einer internen Wertschöpfung durch Knowhow- Erweiterung und einem Entwicklungsvorsprung verbunden. Neben der Weiterentwicklung der technologischen Basis und der damit verbundenen Erschließung neuer Einsatzgebiete im technischen Bereich wird die Kompetenz der Verarbeitung von funktionalisierten Textilien zu einer verbesserten öffentlichen Wahrnehmung des TITV Greiz beitragen. Teilergebnisse des Projektes können für weitere wissenschaftliche oder technische Fragestellungen herangezogen werden. Unabhängig von der weiteren Umsetzung der einzelnen Produktvarianten des Projektes profitiert das TITV Greiz durch einen erheblichen Zuwachs an wissenschaftlichen und technischen Kenntnissen. Das TITV Greiz kann somit seine Kompetenzen als Dienstleister für Forschung und Entwicklung stärken.

Der Transfer der Forschungsergebnisse erfolgt kontinuierlich in die Industrie mit der daraus resultierenden Serienproduktion und dem damit entstehenden Vertrieb.

² Smarttextilesstudie/ <https://www.zew.de/das-zew/aktuelles/smart-textiles-versprechen-grosses-wachstumspotenzial-in-deutschland/> eingesehen am 15.05.2021

II.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Im Berichtszeitraum sind dem TITV Greiz keine weiteren Forschungs- und Entwicklungsergebnisse von dritter Seite bekannt geworden, die die Durchführung des Forschungsvorhabens relevant beeinflussen.

II.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

II.6.1 Veröffentlichungen in der Vorhabenlaufzeit

Der Inhalt und Teilergebnisse des Projektes sind u. a. in folgenden Medien und Veranstaltungen präsentiert worden:

Veröffentlichung TITV Greiz

Embroidery technologies for the production of Smart textiles; Mandy Weber; TITV Greiz; Technical Textiles 5/2021; S. E232-233

3 Sticktechnologien zur Herstellung von Smart Textiles, Mandy Weber; TITV Greiz; Technische Textilien 5/2021; S. 154-155

Veröffentlichungen der Projektpartner

Coference Proceedings Development of robust sensor packages for autonomous underwater vehicles; IMAPS; Oktober 2022

K.-F. Becker, M. Voitel, D. Schütze, T. D. Nguyen, M. Spanier, O. Hölck, S. Gottwald, A. Hofmeister, L. Kniese, R. Bannasch, T. Braun, M. Schneider-Ramelow;

Development of robust sensor packages for autonomous underwater vehicles; Proceedings of the 55th IMAPS International Symposium on Microelectronics, October 3-6, 2022; Boston, MA, USA

Coference Proceedings Miniaturized Sensor Modules for under Water Applications realized by Printed Circuit Board Embedding Technology; ESTC; September 2022

D. Schütze, T. Löher, M. Voitel, K.-F. Becker, A. Hofmeister, S. Gottwald, A. Ostmann, M. Schneider-Ramelow;

Miniaturized Sensor Modules for under Water Applications realized by Printed Circuit Board Embedding Technology; Proceedings of 9th Electronics System-Integration Technology Conference ESTC, September 13-16, 2022; Sibiu, Romania

Online Artikel

Robo-Rochen als Munitions-Sucher; FOCUS-Money; Juni 2022

https://www.focus.de/wissen/natur/robo-rochen-als-munitions-sucher_id_107987323.html

TV-Beitrag

Tauchroboter sucht Kriegsmunition; Galileo; Juni 2022

https://portal.argusdatainsights.de/web/open/dokument/name/6/m_30_608329816.mp4?path=105301%2fMB%2fTV

Online Artikel

Autonomer Roboter-Rochen findet Munitionsreste, Juli 2022

c't 2022, Heft 16

Pressemitteilung

Vom Robo-Rochen aufgespürt; IZM Webseite; März

https://www.izm.fraunhofer.de/de/news_events/tech_news/vom-robo-rochen-

aufgespert.html#:~:text=Um%20im%20Meer%20versunkene%20Kriegsgeschosse,
komplexe%20und%20teilweise%20gefährliche%20Aufgabe

TV-Beitrag

Die Ostseetaucher; RTL Nitro; 28.11.2022

II.6.2 Geplante Veröffentlichungen nach Ende des Vorhabens

Die Ergebnisse des Projektes werden in einem Vortrag und bei den Institutrundgängen während der TITV Innovationen am 27.09.2023 präsentiert.

Ebenfalls wird im „TITV Jahresbericht 2022“ und auf der TITV Homepage³ das Projekt „Bionic RoboSkin“ veröffentlicht.

Zudem sind die gewonnenen Erkenntnisse und die Ergebnisse in das aktuelle Seminarprogramm des TITV Greiz zur Schulung von verschiedenen Zielgruppen integriert worden.

³ <https://www.titv-greiz.de/de/forschung-entwicklung/12-konkrete-projekte/457-futuretex-invest-teilprojekt-4-2-nachhaltige-staerkung-der-im-rahmen-futuretex-entstandenen-infrastruktur-teil2>

Förderkennzeichen 16ES0915



Forschungsprojekt Bionic RoboSkin

Anforderungskatalog

Textil

Elektrische Leiter

Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e.V.

Zeulenrodaer Straße 42
07973 Greiz
Germany
Tel: +49 3661 611-308
E-Mail: h.schaarschmidt@titv-greiz.de

Description	Position	Name	Datum	Unterschrift
Autor	Projektmanager	Heidi Schaarschmidt	15.05.2019	
Revision				
Dokumententyp	Anwendungsszenario TITV Greiz			Revision 2
Dokumentenname	Anforderungskatalog Textil – Elektrische Leiter			Seiten 2

Anforderung an das Textil für die Sensorhaut

- multidirekional elastisch/dehnbar, aber in Längsrichtung stabil (Anlehnung an DIN EN ISO 13934-1)
 - o In Längsrichtung: Höchstzugkraftdehnung von min. 450 N, Dehnung von max. 120 %
 - o In diagonaler Richtung: Höchstzugkraftdehnung von min. 450 N, Dehnung von min. 150 %
 - o In Querrichtung: Höchstzugkraftdehnung von min. 500 N, Dehnung von max. 250 %
- während der Flügelbewegung konstant anliegend, d. h. die Elastizität muss so hoch sein, dass dies auch unter Belastung der Fall ist
- glatte textile Oberfläche, um möglichst geringen Strömungswiderstand zu realisieren
- Herstellung unterschiedlicher Dehnungszonen nach Vorgaben der Fa. EvoLogics GmbH, Berlin
- definierte Dichtheit um Druckausgleich unter Wasser zu erreichen:
 - o dicht genug, um Kraftübertragung auf Wasser zuzulassen
 - o offenporig, um Gasentweichung zu ermöglichen und Wasserablauf bei Entnahme aus dem Wasser zu realisieren
- Rippen dürfen sich nicht durcharbeiten
- Langzeitstabil gegenüber Umwelteinflüssen wie bspw. UV-Strahlung, Chlor, Salzwasser
- Chemikalienbeständigkeit - sehr gut
- Materialdicke Abstandsgewirke - etwa 2-3 mm
- Konfektion: stabile dehnfähige Nähte
- Scheuerbeständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen - gut
- Wasseraufnahmevermögen - gering
- Sichere und langlebige Aufnahme der elektronischen Bauteile wie z. B. Sensoren, Zuleitungen

Projekt	Bionic RoboSkin	Dokument	Anforderungskatalog: Textil – Elektrische Leiter		
Projektnr.	16ES0915	Revision	0-2	Seite	1/2

Anforderung an elektrische Leiter bzgl. textiler Verarbeitung

- stabile Integration in die Sensorhaut
- Flexibilität der Sensorhaut darf nicht beeinträchtigt werden
- textiltechnologische Verarbeitbarkeit auf Textilmaschinen muss gewährleistet sein
- elektronische Kontaktierung muss möglich sein
- elektronische Bauteile müssen aufeinander abgestimmt werden

Anforderungen Bereich Weberei

- o kompensierbar, um der Beanspruchung der Webmaschine zu folgen
- o Höchstzugkraft der leitfähigen Materialien von ca. 15 cN
- o Reibungsresistent gegenüber den Lamellen, den Litzen und dem Webblatt

Anforderungen Bereich Wirkerei

- o Verarbeitung isolierte elektrische Leitungen in 3D-Kettengewirken < 1 mm
- o Geometrie der Verlegerichtung beachten
- o Verarbeitung leitfähiger Fäden > 1 mm bis max. 2 mm nur als Stehfaden möglich
- o Eingeschränkte Elastizität beachten

Anforderungen Bereich Stickerei

- o Verarbeitung auf der Stickmaschine – flexibles und richtungsunabhängiges Verlegen der elektrischen Leitungen
- o Durchmesser: < 4 mm für Verarbeitung auf Stickmaschine über Verlegetechnik, um Reibung an den für den Strickprozess notwendigen Verarbeitungs- und Führungselementen wie Ösen, Öffnungen, Düsen und Schläuchen zu vermeiden
- o Biegeelastisch: Radien < 1 cm für Verarbeitbarkeit auf Stickmaschine, damit durch Stauchung und Streckung eine Qualitätsminderung ausgeschlossen werden kann und das Material des Werkstoffes nicht während des Verarbeitungsprozesses bricht

Anforderung an elektrische Leiter bzgl. der Elektronik

- möglichst große Leiterquerschnitte, um den Leitungswiderstand zu verringern
- hochwertige Isolationsmaterialien sind in der Regel steifer und dicker als Standardmaterialien
- Funktionserhalt unter Umweltbedingungen (Offshore Einsatz)
- dauerhaft seewasser- und chemikalienbeständige Isolation der Leitungen
- Beständigkeit gegenüber UV-Strahlung
- Vorgaben der Projektpartner (Widerstand, Impedanz) beachten

Projekt	Bionic RoboSkin	Dokument	Anforderungskatalog: Textil – Elektrische Leiter		
Projektnr.	16ES0915	Revision	0-2	Seite	2/2