

future**TEX**

Zukunft unternehmen!

TourAtlas

leiTEX

Nachwuchssicherung
Maschinen
Umwelt
Zukunftsprodukt
Innovations-
management
Ressourceneffizienz
Industrie 4.0
Wertschöpfungsketten
Arbeitsorganisation
Wissensmanagement
Landwirtschaft
Medizin
Holz
Chemie
Bau
Textil

Zukunft unternehmen!

Unsere Anwendungsfelder



Automotive



BuildTech



InduTech



Luftfahrt



MedTech



MobilTech



SportTech



Windenergie

➤ Über das Forschungsprojekt futureTEX

Das Projekt futureTEX ist ein Gewinner im Programm „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Bis 2021 arbeiten wissenschaftliche Einrichtungen, Unternehmen und Verbände an der Entwicklung wesentlicher Bausteine eines Zukunftsmodells für Traditionsbranchen. Das Projektkonsortium futureTEX verfolgt das Ziel, die führende Position bei der Umsetzung der vierten industriellen Revolution im Textilmaschinenbau und in der Textilindustrie zu erringen und damit beispielhaft bis 2030 das modernste textilindustrielle Wertschöpfungs-

netzwerk Europas aufzubauen. Mit der Entwicklung eines Zukunftsmodells werden die Forschungsschwerpunkte Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft, kundenintegrierte flexible Wertschöpfungsketten, textile Zukunftsprodukte, Wissens- und Innovationsmanagement sowie Arbeitsorganisation und Nachwuchssicherung gemeinschaftlich mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft bearbeitet. Das Konsortium umfasst aktuell über 300 involvierte Partner, darunter 70 Prozent aus der Industrie. Das Projekt futureTEX ist Preisträger im Wettbewerb „Ausgezeichneter Ort“ im Land der Ideen 2016.

➤ **Abschlussdokumentation Umsetzungsvorhaben leiTEX**

Drucktechnische Fertigung leitfähiger Strukturen und Energiequellen auf textilen Flächengebilden

Laufzeit: 1. März 2017 – 28. Februar 2019

leiTEX war eines von insgesamt 26 Umsetzungsvorhaben des Projekts futureTEX im Rahmen des Programms „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.

Inhalt

Management Summary	6
Partner	7
Problemstellung und Motivation	9
Beitrag zur Realisierung der futureTEX-Ziele	10
Lösungsansatz	10
Ergebnisse	13
Verwertung und wirtschaftliche Bedeutung	17
Ausblick	18

➤ Management Summary

Das Ergebnis des Vorhabens leiTEX ist es, dass auf Technischen Textilien für flexible Elektronik relevante Funktionalitäten strukturiert realisiert wurden.

Drucktechniken fanden bei textilen Flächegebilden bisher ihren Einsatz vorwiegend im Auftrag von Farbstoffen zur optischen Gestaltung der Oberflächen. Inzwischen sind in anderen Branchen funktionale Materialien kommerziell verfügbar, die als Verdruckstoff verwendbar sind und mit denen leitfähige Strukturen (gedruckte Leitbahnen, Antennen) oder auch Energiequellen (gedruckte Batterien) drucktechnisch hergestellt werden. Als Bedruckstoffe werden derzeit Papiere oder polymere Folien verwendet. Das Gesamtziel dieses Vorhabens war es, auf speziellen textilen Flächegebilden Funktionalitäten strukturiert zu realisieren. Für elektrische Anwendungen wurde hierfür gezeigt, dass gedruckte, elektrisch leitfähige Strukturen herstellbar sind, die als Leiterbahn oder Antenne verwendet werden können. Zudem wurde gezeigt, dass sich leitfähige, kapazitive Elemente auf textilen Flächegebilden als Informationsträger nutzen lassen. Darüber hinaus wurden gedruckte Batterien auf textilem Trägermaterial sowie einfache Schaltungen realisiert. Diese erfolgreichen Umsetzungen ermöglichen die effektive Verteilung und Nutzung von elektrischer Energie.

Im Rahmen dieses Vorhabens werden unter dem Begriff „Technische Textilien“ sowohl textile Grundträger, die weiter beschichtet werden, als auch polymere Trägermaterialien verstanden. Für elektrische und elektronische Anwendungen wurden auf diesen Technischen Textilien als Grundvoraussetzung gedruckte, elektrisch leitfähige Strukturen hergestellt. Zum Betreiben von Schaltungen wurden angepasste Energiequellen entwickelt, die sowohl in ihrer Geometrie als auch Lebensdauer und Produktsicherheit industriellen Anforderungen entsprechen.

Diese beiden Zielsetzungen wurden im Vorhaben in zwei Schwerpunkten umgesetzt und erfolgreich demonstriert:

a) Gedruckte, elektrisch leitfähige Strukturen auf Technischen Textilien: Es wurden Technische Textilien erprobt und für die Verwendung als Bedruckstoff optimiert. Parallel zu dieser Entwicklung wurden Silbertinten und Silberpasten evaluiert, die mittels Inkjet-, Tief- bzw. Siebdruck auf diese Textilien appliziert wurden. Das Ergebnis ist, dass die gedruckten Silberstrukturen als Leitbahnen, Antennen oder kapazitive Flächenelemente eingesetzt werden können. Somit ließen sich erfolgreich elektrische Schaltungen, drahtlose Kommunikation als auch die Herstellung von Informationsträgern realisieren.

b) Gedruckte Energiequellen: Die Herausforderung bei gedruckten Batterien liegt darin, die benötigte elektrische Energie für die Applikation in der richtigen Art und Menge bereitzustellen. Im Vorhaben wurde zum einen erfolgreich demonstriert, dass sich Batterien direkt auf Technischen Textilien drucktechnisch realisieren und für einfache Schaltungen nutzen lassen. Zum anderen wurde eine Batterie entwickelt, welche die benötigte Energie für ein Schmerzpflaster zur Verfügung stellt.

Die zentralen Bestandteile und Zielstellungen des Vorhabens lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Funktionserweiterung von textilen Flächegebilden um elektrische Komponenten
- Gedruckte, leitfähige Strukturen auf Technischen Textilien und Pflastern für Stromleitung, Kommunikation und Identifikation
- Realisierung von gedruckten Primärbatterien auf Technischen Textilien und Nutzung zur Stromversorgung von Schmerzplastern
- Eindeutige Identifikation von Produkten (Echtheitschutz, automatisierte Warenhaltung)



Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme (ENAS)
Technologie-Campus 3 | 09126 Chemnitz
Ansprechpartner: Dr. Andreas Willert
T: +49 371 45001-440 | andreas.willert@enas.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme (ENAS)

In der Abteilung „Gedruckte Funktionalitäten“ des Fraunhofer ENAS werden die traditionellen und digitalen Druckverfahren Sieb-, Tief- und Inkjetdruck sowie Dispensing eingesetzt, um neuartige Druckprodukte herzustellen. Aktuelle Forschungs- und Entwicklungsthemen sind gedruckte Schaltungen, gedruckte Batterien sowie gedruckte Antennensysteme. Dabei werden der additive Materialauftrag der Drucktechnologien und ihre hohe Produktivität genutzt. Die Drucktechniken mit den Schwerpunkten Drop-on-Demand Inkjet und Tiefdruck werden gemeinsam mit Partnern weiterentwickelt, um allen neuen technischen Anforderungen gerecht zu werden.



ENDOMEDICA

Endomedica GmbH
Weinbergweg 23 | 06120 Halle/Saale
Ansprechpartner: Dr. Sebastian Luci
T: +49 345 1314-2761 | s.luci@endomedica.de

Endomedica GmbH

Zur Etablierung eines Forschungs- und Entwicklungsstandorts für den Bereich von Arzneimitteln und Medizinprodukten zur transdermalen Applikation bzw. Anwendung existiert seit 2014 die Endomedica GmbH in Halle/Saale. Im Unternehmen stehen neue Laborkapazitäten nach S1-Standard zur Nutzung bereit. Die Erlaubnis für den Umgang mit Betäubungsmitteln (BtM) ist von der Bundesopiumstelle (BfArM, Bonn) erteilt. Zeitgleich wurden zwei neue Büros bezogen, um langfristig die Kapazitäten für neue Mitarbeiter und Projekte zu erweitern. Es bestehen mehrere Kooperationen mit Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft und Unternehmen der freien Wirtschaft.



GT+W GmbH
Paul-Ehrlich-Straße 17 | 63322 Rödermark
T: + 49 6074 8431-71 | mail@gtandw.com

GT+W GmbH

GT+W bietet Forschungs- und Produktionsunternehmen Lösungen, mit denen sie völlig neue Druckprodukte untersuchen und produzieren können. Das Unternehmen versteht sich als Full-Service-Anbieter für Systeme und Geräte für den Funktionsdruck sowie Engineering- und Beratungsleistungen. Die Kernkompetenzen liegen in der Entwicklung und kundenspezifischen Anpassung von Druckmaschinen für gedruckte Elektronik sowie von Schichtdickenmessgeräten für ultradünne, transparente Folien.



VOWALON Beschichtung GmbH
Bahnhofstraße 46-48 | 08233 Treuen
Ansprechpartner: Mareen Götz
T: +49 37468 60-210 | info@vowalon.de



TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ

Technische Universität Chemnitz
Fakultät für Maschinenbau
Institut für Print- und Medientechnik
Professur Printmedientechnik
Reichenhainer Straße 70 | 09126 Chemnitz
Ansprechpartner: Prof. em. Dr. rer. nat. Reinhard R. Baumann
T: +49 371 531-35843 | reinhard.baumann@mb.tu-chemnitz.de



Berufsgenossenschaftliches Universitätsklinikum
Bergmannsheil gGmbH
Chirurgische Universitätsklinik und Poliklinik
Bürkle-de-la-Camp-Platz 1 | 44789 Bochum
Ansprechpartner: Dr. med. H. Baecker | Dr. S. Frieler
T: +49 234 302-3008 | T: +49 234 302-3087
hinnerk.baecker@bergmannsheil.de | sven.frieler@bergmannsheil.de

VOWALON Beschichtung GmbH

Als bedeutender Serien- sowie Nischenproduzent und Spezialist für Kunstleder und technische Beschichtungen bietet VOWALON ein umfangreiches Sortiment an innovativen Erzeugnissen. Mit modernsten Anlagen produziert VOWALON hochwertige Beschichtungen auf PVC- und Polyurethanbasis für die Bereiche Polster- und Fahrzeugkunstleder, technische Beschichtungen, Heimtextilien, Schuh- und Täschnerwaren Kunstleder sowie Flammkaschierungen für die Fahrzeugindustrie.

Technische Universität Chemnitz

Die drucktechnische Herstellung leitfähiger Strukturen und Energiequellen auf technischen, textilen Flächengebilden wurde von der ehemaligen Professur Digitale Drucktechnologie und Bebilderungstechnik an der Technischen Universität Chemnitz realisiert. Die Arbeitsgruppe verfügt über langjährige Erfahrungen im Bereich der Herstellung smarter Objekte in Sheet- und Web-Fed Fertigungsverfahren unter Verwendung der Drucktechnologien Inkjet-, Sieb- und Tiefdruck mit dem Fokus auf digitale Drucktechnologie.

Berufsgenossenschaftliches Universitätsklinikum Bergmannsheil gGmbH

Berufsgenossenschaftliche Klinik, Universitätsklinikum und Krankenhaus der Maximalversorgung – diese in Deutschland einmalige Kombination macht das Bergmannsheil zu einer der ersten Adressen für bestmögliche medizinische Versorgung, Forschung und Innovation. Insgesamt werden derzeit weit über 300 Forschungsprojekte bearbeitet. Hierfür arbeiten Ärzte aller Fachabteilungen und Forscher interdisziplinär mit Kolleginnen und Kollegen der Ruhr-Universität Bochum zusammen. Den Arbeitsgruppen stehen Forschungslabore und -instrumente im Klinikum zur Verfügung.

➤ Problemstellung und Motivation

Das zunehmende Interesse an der Funktionalisierung von Textilien hinsichtlich ihres möglichen Einsatzes im Sinne der zu gewinnenden Informationen, z. B. die Überwachung von Körperfunktionen wie Herz- oder Atemfrequenz während einer Sportaktivität, rückt immer weiter in den Fokus unserer Gesellschaft. Dabei stellt die Datenerfassung nicht nur für allgemeine Daten wie Tracking von Fitnessfunktionen, sondern auch für medizinische Zwecke eine große Herausforderung dar. Bei der Umsetzung und Realisierung sollen die aufgebrachten Strukturen dem Anwender möglichst nicht auffallen bzw. von ihm als nicht störend wahrgenommen werden. Dies erfordert eine Umsetzung, durch die eine Flexibilität des Textils nicht eingeschränkt und gleichzeitig kein zusätzliches Gewicht verursacht wird. Ein solches System erfordert neben der Erfassung und Verarbeitung von Signalen auch eine zweckmäßige Energieversorgung. Zielführend hierbei ist, die entsprechenden Funktionalisierungen direkt auf den verwendeten Textilien zu applizieren. Die Integration von Energiequellen in diese funktionalisierten Systeme ist eine weitere Strategie, um ein komplexes System direkt auf den textilen Trägermaterialien aufzubauen.

Ein weiterer Ansatz ist die Realisierung funktionaler Elemente im medizinischen Bereich, wie z. B. die gezielte Applikation von Schmerzmitteln durch ein mittels gedruckter Energiequelle betriebenes Pflaster, welches über ein Wirkstoffreservoir verfügt. Hier soll mittels elektrischer Impulse die Abgabe einer genauen Dosis in vom Mediziner definierten Zeitabständen erfolgen. Um einen hohen Tragekomfort für die Patienten zu gewähren, muss die

Elektronik sowie die damit verbundene Energiequelle so dünn und flexibel wie möglich gestaltet werden. Natürlich spielt die Dimensionierung und die Formgebung der elektrischen Leiterbahnen und Bauteile eine entscheidende Rolle. Die Funktionalisierung der textilen Flächegebilde kann mittels Bedruckung erfolgen, wobei hier besonders die hohe Flexibilität und freie Layoutgestaltung von Vorteil sind. Die in Textilien integrierte Signalübertragung und Energiequellen sind seit Jahren Gegenstand der Forschung. Vereinzelt wurde mit der kommerziellen Herstellung begonnen. Hierbei wird aber zumeist ein leitfähiges Garn in Textilien eingebracht und in diesen verwebt, welches als Leitungs- und Signalträger dient. Die Energiequellen werden extern produziert und auf die entsprechenden Stellen der Textilien auflaminiert bzw. in einer in den Textilien integrierten Trägerbox platziert. Diese Trägerboxen bestehen vielfach aus einem Kunststoffgehäuse, sind starr und für den Anwender deutlich zu spüren.

Das Vorhaben leiTEX verfolgt im Gegensatz dazu den Ansatz, die gesamte Funktionalität mittels Drucktechnik direkt auf den textilen Trägermaterialien aufzubringen. Hierdurch ist es möglich, eine individuelle Gestaltung sowie ein schnelles Anpassen an besondere Ansprüche von Seiten des Kunden zu realisieren. Als Voraussetzung für eine gleichmäßige, strukturierte Applikation der funktionalen Schichten auf textilen Flächen wurde eine geeignete Kombination aus leitfähigen Materialien, textilen Trägern und Nachbehandlung der gedruckten Strukturen entwickelt.

➤ Beitrag zur Realisierung der futureTEX-Ziele

Die Zielsetzung von futureTEX ist, neuartige Applikationen textiler Flächegebilde bzw. Technischer Textilien zu erforschen und zu entwickeln und damit neue Märkte (moderne Medizin, Technische Textilien) zu erschließen. Im Vorhaben leiTEX wurden hierzu vorhandene drucktechnische Kompetenzen für die Herstellung geometrisch strukturierter Funktionalitäten verwendet, um Leitbahnen, kapazitiv gekoppelte Flächen, Antennen und Energiequellen auf und in Technischen Textilien zu integrieren.

Die erfolgreiche Realisierung dieser Funktionalitäten ermöglicht es, neue Anwendungen von Technischen Textilien zu erschließen. Dies erfolgte für großflächige Technische Textilien sowie zu Sensorik-Zwecken im Bereich Pflaster und Wundverbände. Die beteiligten Forschungseinrichtungen brachten bei diesem Innovationsschritt die

notwendige, prozesstechnische Expertise ein, welche es ermöglicht, neue Geschäftsfelder für zukünftige Entwicklungen zu adressieren.

Mit dem Vorhaben ist es gelungen eine Plattform zu etablieren, welche die grundlegenden Elemente textiler Träger, leitfähige Flächen (Leiterbahnen, kapazitive Flächen, Antennen) sowie Energie (gedruckte Primärbatterie) zuverlässig herstellen kann. Aufbauend auf dieser Plattform lassen sich neue Anwendungen im Bereich Funktionstextilien, Funktionskleidung, medizinische Aktorik und Sensorik (Wirkstoffabgabe, Monitoring von Körperparametern) entwickeln. Damit ist es durch das Programm „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ im futureTEX-Vorhaben gelungen, neuartige Ansätze für den erweiterten Einsatz von funktionalen Textilien zu etablieren.

➤ Lösungsansatz

Um die Zielstellung leitfähiger, strukturierter Flächen sowie energetischer Strukturen auf textilen Flächegebilden zu erreichen, waren im Konsortium Partner mit Kompetenzen entlang dieser Wertschöpfungskette vertreten: Herstellung von Tinten und Pasten, Herstellung und Veredlung von textilen Flächegebilden, drucktechnischer Auftrag von strukturierten Materialien, Funktionalisierung dieser aufgetragenen Werkstoffe, Applikationsentwicklung und Maschinendesign.

Die anspruchsvolle Applikation von funktionalen Schichten auf textilen Flächegebilden zielt auf die Flexibilität, das geringe Gewicht und die funktionale Nutzung ab. Hierfür ist es notwendig, Tintenkombinationen im Zusammenspiel mit den entsprechenden Applikationsmethoden und der entsprechenden Nachbehandlung zu entwickeln,

damit eine Umsetzung realisiert werden kann, welche prinzipiell industrialisierbar ist. Die erste Zielsetzung ist es, ein textiles Trägermaterial zu entwickeln, welches den Anforderungen für den Druck- und nachfolgenden Funktionalisierungsprozess gerecht wird. Hier wird zunächst ein Screening der bereits verfügbaren Materialien vorgenommen. Auf der Basis der ermittelten Vor- und Nachteile der bestehenden Lösungen werden Anforderungen an das Textil formuliert, welche dann im Vorhaben durch Modifikationen und Neuentwicklungen umgesetzt werden. Der so entwickelte textile Träger ist mit den Druck- und Beschichtungsprozessen als auch mit allen notwendigen Nachbehandlungen kompatibel.

Dabei gibt es eine Reihe unterschiedlicher Parameter, welche variiert werden können. Als erster Parameter soll

die Art des unbeschichteten textilen Flächengebildes, des eigentlichen textilen Grundmaterials, genannt werden. Hierfür kommen prinzipiell alle Arten der Textilherstellung in Frage. Welches Verarbeitungsverfahren sich am besten eignet, hängt von den gewünschten Eigenschaften des fertigen, mit leitfähigen Strukturen bedruckten Erzeugnisses ab. Ist eine hohe Festigkeit des Materials erforderlich, eignet sich ein Gewebe am besten. Ein gestrickter textiler Träger ist vorzuziehen, wenn das Material eine hohe Dehnungsfähigkeit aufweisen soll. Ein Vlies erweist seine Vorzüge beispielsweise in einem großen Volumen bei einem verhältnismäßig niedrigen Flächengewicht. Diese Beschreibungen skizzieren grob die Grundeigenschaften der textilen Materialien, welche, je nach konkreter Verarbeitungsart, Flächengewicht und textilem Faserstoff, wiederum eine große Bandbreite an Eigenschaften aufspannen.

Die gebräuchlichsten, textilen Faserstoffe, welche eingesetzt werden können, sind Polyester. Eine Verschweißbarkeit des Materials sowie eine hohe Elastizität kann mit Polyamidgestriicken erreicht werden. Aromatische Polyamide, welche als Aramid bezeichnet werden, sind hoch flammfest. Als Gewebe verarbeitet weisen sie darüber hinaus eine hohe Schnittfestigkeit auf. Als Naturmaterial mit hoher Festigkeit und Hautfreundlichkeit bietet sich Baumwolle an. Je nach gewünschtem Eigenschaftsprofil finden auch Mischfasern aus den vorgenannten Materialien breite Anwendung. Daraufhin muss das Augenmerk auf das Material gerichtet werden, welches zur Beschichtung des textilen Grundmaterials eingesetzt wird. Die Beschichtung bildet das Bindeglied zwischen Textil und Druck, da sie erst die glatte Fläche bildet, auf welche die leitfähigen Strukturen aufgedruckt werden können. Wiederum kommen unterschiedliche Materialien in Betracht, welche unterschiedliche Eigenschaftsprofile bedienen.

Als erstes Material sei Polyvinylchlorid (PVC) als hochmoderner Werkstoff mit breitem Eigenschaftsprofil, niedrigem Preis und leichter Verarbeitbarkeit genannt. Beschichtungen aus PVC können stufenlos in einer großen Bandbreite an Weichheitsgraden hergestellt werden. Darüber hinaus sind sie gut schäumbar und können mit großen Flächengewichten auf ein Textil aufgebracht werden. Polyurethan (PUR) zeichnet sich hingegen dadurch aus, dass es bereits bei sehr niedrigen Flächengewichten einen glatten und stabilen Film mit hoher Wasserdichte bilden kann. Wenn dies gewünscht ist,

können Polyurethane ausgewählt werden, welche außerdem atmungsaktiv sind. Als Oberflächenversiegelung und somit als Basisschicht für die aufzudruckenden Tinten finden auch Acrylate Anwendung, welche sowohl auf PVC als auch auf PUR aufgebracht werden können.

Auch das Auftragsverfahren, mit dem das Beschichtungsmaterial auf den textilen Träger aufgebracht wird, hat einen Einfluss auf die Eigenschaften des resultierenden, veredelten Textils. Bei einer Direktbeschichtung erhält man beispielsweise eine hohe Haftung des Beschichtungsmaterials auf dem Textil. Dem gegenüber steht die Indirektbeschichtung. Bei diesem Verfahren bildet ein Transferpapier das entscheidende Produktionshilfsmittel. Im Beschichtungsprozess wird zunächst die Deckschicht in flüssiger oder pastöser Form auf das Papier aufgebracht und in einem anschließenden Trocknungskanal ausgetrocknet beziehungsweise vernetzt und ein eventuell vorhandenes Lösungsmittel verdampft. Diese Deckschicht ist für die Oberflächeneigenschaften des Materials verantwortlich. Bei Bedarf wird in einem zweiten Schritt in gleicher Weise ein Zwischenstrich aufgebracht, der maßgeblich die Dicke, die Festigkeit und die Haptik des Materials beeinflusst. Dieses Vorgehen wird noch ein drittes Mal wiederholt, wobei dieser dritte aufgebrachte Strich als Klebestrich die Verbindung der beiden vorher aufgetragenen Schichten mit dem in diesem Schritt zusätzlich zugeführten Textil herstellt. Nach der dritten und letzten Trocknung wird das beschichtete Textil vom Transferpapier abgelöst und kann jetzt zum Bedrucken mit den leitfähigen Strukturen eingesetzt werden.

Im Vorhaben ergab sich eine Variation der vorgenannten Verfahrensweisen. Es erwies sich für bestimmte Einsatzgebiete als zielführend, wie folgt vorzugehen: Eine Polyurethanbeschichtung wurde auf ein Transferpapier aufgebracht, ohne dass ein Textil zukaschiert wurde und ohne dass eine Trennung der Beschichtung vom Papier erfolgte. Die leitfähigen Strukturen wurden anschließend auf diesen Verbund aufgedruckt. Vor dem Bedrucken kann die Oberfläche des beschichteten Materials noch modifiziert werden. Dazu kann beispielsweise ein Lack aufgebracht werden. Dies bewirkt eine Versiegelung der Oberfläche. Außerdem kann durch die Auswahl eines geeigneten Lacks eine Hydrophilierung der Oberfläche erreicht werden, welche eine Verbesserung der Anbindung der leitfähigen Drucktinte auf dem Substrat bewirkt. Darüber hinaus kann in einem nachfolgenden Schritt eine Glättung der Oberfläche erfolgen. Dazu wird das Material

erhitzt und zwischen einer Glätte- und einer Andruckwalze hindurchgeführt. Das in dieser Weise beschichtete Textil mit optimierter Oberfläche kann nun für die verschiedenen Druckverfahren eingesetzt werden.

Die Textilien werden im ersten Schritt mit funktionalen Tinten, z. B. silber- oder kohlenstoffhaltigen Tinten, bedruckt, welche eine ausreichend dicke Leitbahn/Schicht ausbilden, um die definierten Signale zuverlässig weiterzuleiten. Gleichzeitig wird ein entsprechender Nachbehandlungsprozess angeschlossen, welcher die Tinten funktionalisiert. Dabei dürfen die textilen Flächengebilde aber nicht beeinträchtigt werden. Die Herausforderungen hierbei sind die Vermeidung von Quellung, Strukturänderung oder auch Farbveränderung. Da jede Farbnuance der textilen Flächengebilde die Energieaufnahme bei der thermischen Nachbehandlung beeinflusst, muss dieser Prozessschritt für jedes Material und jede vorhandene Farbnuance angepasst werden.

Ausgehend von dieser Zielstellung wurden für die Herstellung der ersten, elektrisch leitfähigen Schichten kommerzielle Silbertinten untersucht. Schnell zeigte sich, dass gerade Tinten, die in anderen Bereichen eine gute Performance zeigen, für die Applikation auf textilen Flächengebilden nicht geeignet sind. Die enthaltenen Lösemittel verursachen ein Aufquellen der Textilien, während die harschen Nachbehandlungsbedingungen, welche für die bezweckte Leitfähigkeit notwendig sind, die Oberflächen der textilen Flächengebilde nicht nur beeinflussen oder schädigen, sondern teilweise komplett zerstören.

Deswegen wurden im Rahmen des Vorhabens zwei Lösungsansätze verfolgt:

- Nutzung von lösemittelfreien, wässrig basierten Tinten im Tief- und Inkjet-Druck. Bei der Nachbehandlung auf textilen Trägermaterialien ist ihrer Wärmeempfindlichkeit Rechnung zu tragen.
- Applikation der gedruckten Funktionalitäten auf beschichtetes Transferpapier. Das Papier ist wesentlich resistenter gegenüber dem Wärmeeintrag der Nachbehandlung. Die funktionalen Strukturen können mittels Kaschierung im Anschluss auf ein textiles Flächengebilde übertragen werden.

Neben den elektrisch leitfähigen Strukturen stellt die Realisierung von gedruckten Energiequellen auf textilen Flächengebilden eine weitere Herausforderung dar. Hierbei muss ein Schichtsystem auf den textilen Flächengebilden appliziert werden, welches aus seinen chemischen Bestandteilen elektrische Energie bereitstellt. Als Basis für die Batterie wird das Materialsystem Zink-Braunstein gewählt, da es umweltfreundlich ist und keine Gefährdung im Fall eines Kurzschlusses darstellt. Eine exotherme Reaktion wie von Lithium-basierten Batteriesystemen ist nicht möglich. Außerdem setzt eine mögliche Leckage keine hochtoxischen oder ätzenden Stoffe frei. Allerdings muss zur Sicherstellung der Funktionalität der Energiequellen das textile Flächengebilde mit einem Schutzfilm versiegelt werden, der die Verdunstung des wässrigen Elektrolyten verhindert. Hierfür kommen spezielle Lackbeschichtungen zum Einsatz, die gleichzeitig die Oberflächentopografie der textilen Flächengebilde eibnen, was den Applikationsprozess der funktionalen Schichten vereinfacht.

Eine weitere Zielsetzung in Bezug auf die Entwicklung der Batterie ist ihre Verwendung als Energiequelle für ein transdermales Wirkstoffpflaster. Hier wird im Projekt die Elektronik für das Pflaster entwickelt und damit die Anforderungen an die Energieversorgung definiert und experimentell verifiziert. Zielsetzung ist es, eine in Spannung und Ladungsmenge passende Batterie aufzubauen und zu qualifizieren.

Werden alle diese Ziele zusammengefasst, entsteht im Rahmen des leiTEX-Umsetzungsvorhabens eine grundlegende Plattform elementarer Funktionen, die bei der konkreten Umsetzung in Produkte als Basis dient. Der textile Träger muss, für jegliche elektrische Anwendung definiert, Strom und Signale führen können. Zur Anzeige oder Verarbeitung von Informationen müssen klassische Bauteile hinzugefügt werden. Dies wird im Rahmen des Vorhabens anhand von SMD-LEDs (Surface Mounted Devices: Light Emitting Diodes/Leuchtdioden) gezeigt. Des Weiteren erfordert jegliche elektrische Funktion eine Spannungsversorgung, welche im Rahmen des Vorhabens als Energiequelle für ein Wirkstoffpflaster entwickelt, angepasst und optimiert wird. Somit kann auf dieser Basis für eine gewünschte Applikation durch die Anpassung von gedruckten Schichten und den jeweils ausgewählten, hinzuzufügenden Bauteilen realisiert werden.

➤ Ergebnisse

Im Laufe des Vorhabens erfolgte die Realisierung von Funktionalitäten auf textilen Flächegebilden mittels verschiedener Drucktechnologien.

Applizieren der funktionalen Schichten auf textile Flächegebilde

Eine der größten technologischen Herausforderungen ist die Oberflächentopografie sowie die chemische Zusammensetzung der textilen Flächegebilde. Die chemische Zusammensetzung des letzten Streichlacks, sprich die mit der Drucktinte in Kontakt kommende Oberfläche, beeinflusst nicht nur die textile Topografie, sondern auch die Leitfähigkeit der Leiterbahnen signifikant, was hierdurch Auswirkungen auf die Signalweiterleitung und Effektivität der Spannungsübertragung hat. Darüber hinaus zeigen auch die in den textilen Flächegebilden verarbeiteten Farbpigmente einen deutlichen Einfluss auf die Ergebnisse der Nachbehandlung.

Durch die Technische Universität Chemnitz wurden auf die von VOWALON zur Verfügung gestellten Textilien die Funktionalitäten mittels Inkjet- und Tiefdruck aufgetragen. Das Entwicklungsziel hierbei war eine geeignete Kombination von Tinten und Textiloberflächen sowie Nachbehandlungsbedingungen zu finden, die materialschonend eine hohe Leitfähigkeit der aufgetragenen, leitfähigen Strukturen generieren. Erste Druckversuche erfolgten in einem Labormaßstab. Mit den gewonnenen Erkenntnissen wurde der Druckprozess im industrienahen Sheet-Fed (Inkjet) und Web-Fed (Inkjet und Tiefdruck) umgesetzt.

Gleich zu Beginn zeigte sich, dass die meisten lösemittelbasierten, kommerziellen Tintensysteme starke Wechselwirkungen mit der textilen Oberfläche eingehen, was durch Aufquellung um teilweise mehr als 1 mm zu Problemen während des Druckens führt, da ein undefinierter Kontakt zwischen Druckkopf und Textil erfolgen kann. Weiterhin erbrachte eine thermische Sinterung der lösemittelbasierten, kommerziellen Tintensysteme aufgrund der substratbedingt niedrigen, maximalen Sinterungstemperaturen von 130 °C nicht den erwünschten Grad der Funktionalisierung. Alternativ war eine Funktionalisierung durch eine aufwendige, photonische Nachbehandlung mit Intense Pulsed Light (IPL) erfolgreich. Mit einer kom-

pletten Umstellung auf wässrig basierte Tintensysteme konnte das Problem der Aufquellung überwunden werden. Positiv bei der Nachbehandlung der meisten wässrigen Tinten ist eine geringere Veränderung des Textils als bei lösemittelbasierten. So war mit den getesteten wässrigen Tintensystemen eine thermische Funktionalisierung möglich – ohne die Textiloberflächen zu verändern. Aufgrund dessen wurde ein Wechsel zu wässrig basierten Tinten durchgeführt. Mittels dieser Tinten gelang es im Labor Leitfähigkeiten von bis zu 40 Prozent von Bulk-Silber zu erzielen.



Abbildung 1: Im Tiefdruck gedruckte, flexible, kapazitive Elemente und Leitbahnen auf Hygienetextil. Quelle: Technische Universität Chemnitz

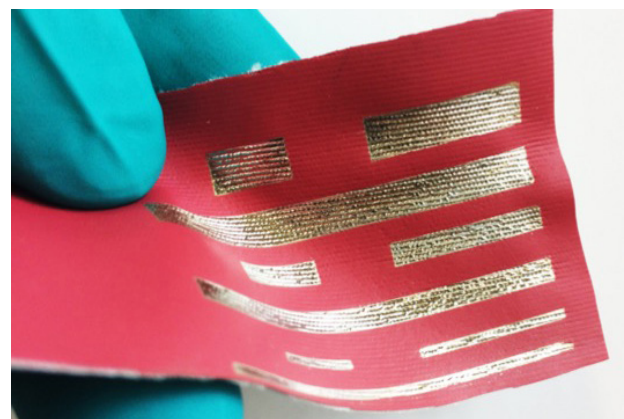


Abbildung 2: Inkjet gedruckte, leitfähige Elemente auf Hygienetextil. Quelle: Technische Universität Chemnitz

Leitfähige Strukturen auf wasserdampfdurchlässiger Membran



Abbildung 3: Siebgedruckte, leitfähige Elemente auf wasserdampfdurchlässiger Membran. Quelle: VOWALON

Membranen sind eine wichtige Komponente in den sogenannten Funktionstextilien. Sie sorgen für die Wasserdichtheit und ermöglichen gleichzeitig die Wasserdampfdurchlässigkeit. Leitfähige Strukturen schaffen die Möglichkeit, Sensoren zur Überwachung von Körperfunktionen, beispielsweise Puls und Körpertemperatur, direkt ins Textil zu integrieren. Dazu können die Leiterbahnen auf der Membran appliziert werden. Innerhalb des Vorhabens konnte erfolgreich ein Demonstrator hergestellt werden. Die Membran wird nach der Beschichtung auf dem Transferpapier belassen. Das Transferpapier dient als Träger zur Stabilisierung der Membran beim Druckprozess.

Schutzbeschichtung nach dem Drucken

Eine sehr interessante Verfahrensweise ist die Integration leitfähiger Strukturen innerhalb einer Beschichtung auf dem Textil. Somit sind die Leiterbahnen vor äußeren Einflüssen, wie zum Beispiel Abrieb, Feuchtigkeit und Korrosion, geschützt. Um dieses Ziel zu erreichen, wird der Beschichtungsprozess unterbrochen und nach dem Bedrucken der leitfähigen Strukturen fortgeführt. Dabei wird die Beschichtung im Transferbeschichtungsverfahren hergestellt und auf dem Papier belassen. Der Druck erfolgt wie bei der Membran auf den ersten Teil der Beschichtung.

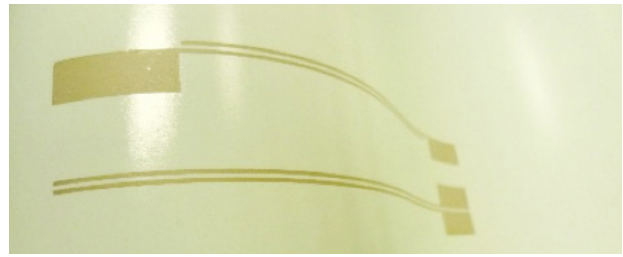


Abbildung 4: Siebgedruckte, leitfähige Elemente auf PU-Beschichtung, formstabilisiert durch Transferpapier. Quelle: VOWALON

Im Anschluss wird eine weitere Beschichtung aufgetragen. Vor dem Trocknen beziehungsweise Ausreagieren der Beschichtung wird der textile Träger aufkaschiert. Am Ende wird das Papier entfernt. Nun stellt der äußere Teil der Beschichtung die PU-Schutzbeschichtung für den leitfähigen Druck dar.

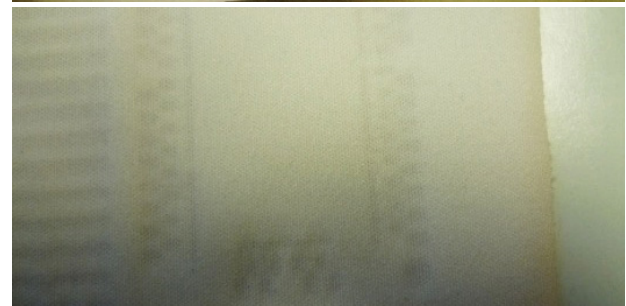
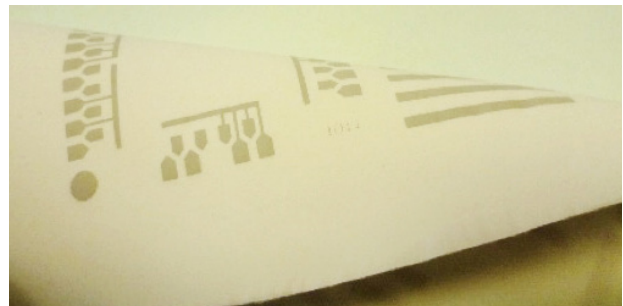


Abbildung 5: Siebgedruckte leitfähige Strukturen innerhalb der PU-Beschichtung, hier zur Anwendung als kapazitives Element. Quelle: VOWALON

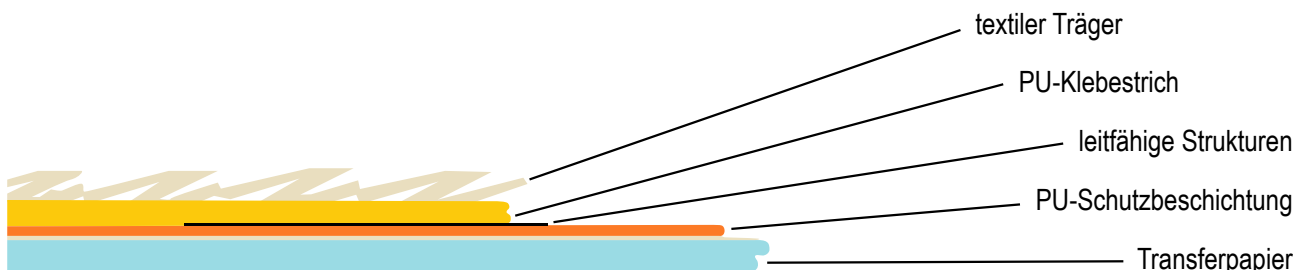


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Produktionsablaufs des in Abbildung 5 dargestellten Textils. Quelle: VOWALON

Bei der Anfertigung des Materials kann man in der Weise vorgehen, dass das gedruckte Layout der leitfähigen Strukturen an den Seiten über den Bereich der Schutzbeschichtung herauschaut. Das eröffnet einen Weg für

die Kontaktierung der Leiterbahnen. In der Beschichtung eingebettete leitfähige Strukturen können darüber hinaus auch ohne Kontaktierung als kapazitive Elemente eingesetzt werden.

Flexible, leitfähige Strukturen auf Oberflächen von beschichteten Textilien

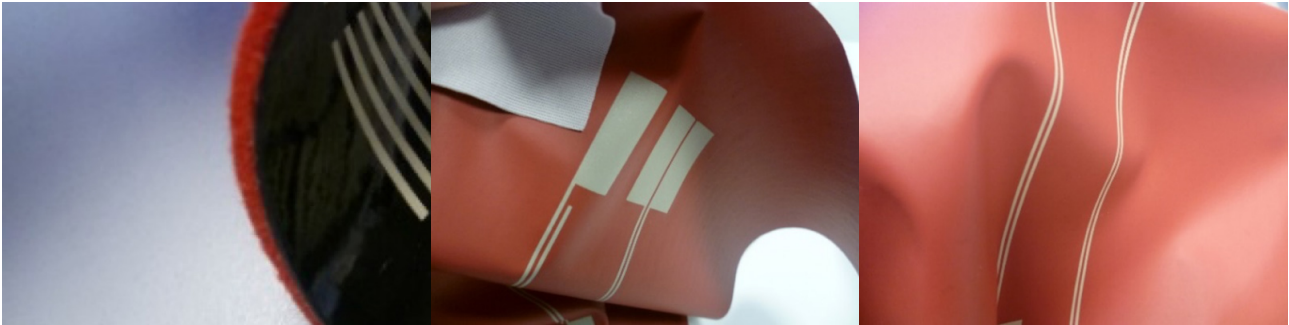


Abbildung 7: Siebgedruckte Leiterbahnen auf unterschiedlichen Textilien; links: robuste und widerstandsfähige PVC-Beschichtung; Mitte u. rechts: dünne PUR-Beschichtung auf elastischem Polyestergestrick. Quelle: VOWALON

Die obigen Abbildungen zeigen unterschiedliche, beschichtete Textilien, welche mit Leiterbahnen bedruckt wurden. Diese illustrieren die Bandbreite beschichteter Textilien, welche für den Einsatz in Frage kommen. In der linken Abbildung ist eine robuste und widerstandsfähige PVC-Beschichtung auf einem voluminösen Vlies dargestellt. In der Mitte und rechts ist hingegen eine dünne Polyurethanbeschichtung auf einem elastischen Polyestergestrick dargestellt, das höchste Flexibilitätsanforderungen erfüllt.

Das Fraunhofer ENAS nutzte zur Herstellung der Funktionalitäten auf textilen Flächegebilden das Siebdruck-Ver-

fahren. Hierbei ist es möglich eine hohe Schichtdicke zu erzeugen, welche für die hergestellten Energiequellen mit ihren chemisch aktiven Schichten unabdingbar ist.

Energiequellen

Zur Verbesserung der elektrischen Leitfähigkeit wurden unter den Batterieelektroden Silbergitter aufgetragen. Diese sind gerade im Bereich der medizinischen Applikation, wo kurzzeitig Ströme von 10 mA benötigt werden, unverzichtbar. Nur so können die entsprechenden Stromspitzen bedient und damit die Abgabe einer bestimmten Wirkstoffmenge an den Patienten generiert werden.

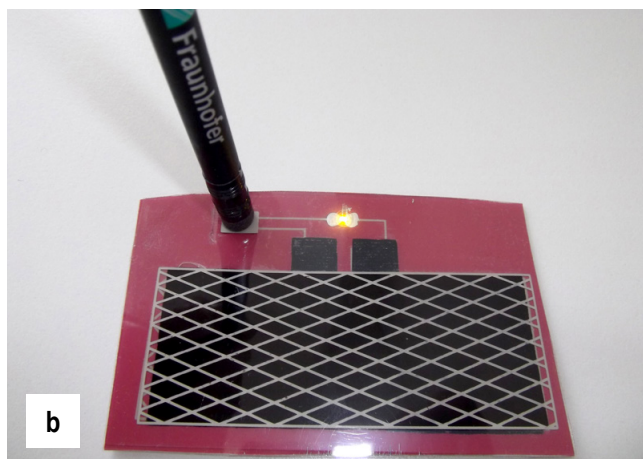


Abbildung 8: a) gedruckte flexible Silberleitbahnen auf Hygienetextil, versehen mit LED und Energiequelle. b) Batteriedemonstrator auf technischem Textil. Quelle: ENAS

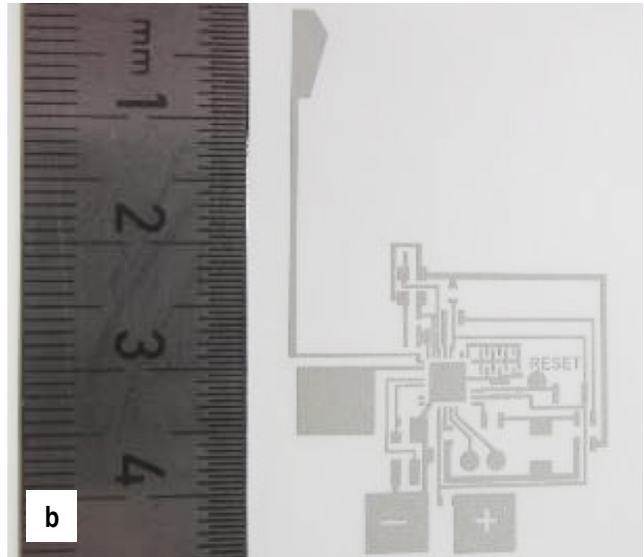
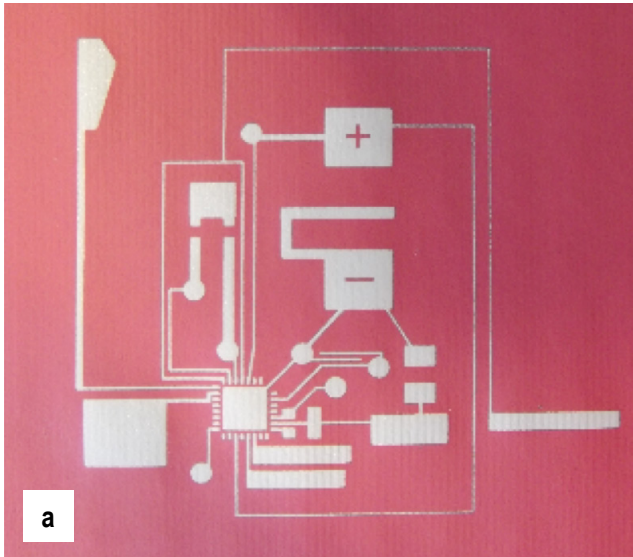


Abbildung 9: a) mittels sheet-fed gedrucktes Hybridsystem auf Textil. Bestehend aus kapazitiven Flächen, Kontaktmöglichkeit von MCU, Widerstand, Spannungsquelle und diversen Sensorapplikationen. b) R2R gedrucktes Hybridsystem der 2. Generation. Quelle: ENAS

Zielsetzung der Endomedica im Rahmen dieses Vorhabens waren die Untersuchungen zur Verwendbarkeit gedruckter Batterien in einem elektronisch gesteuerten, transdermalen Applikationssystem im Arzneimittel-Bereich. Ein Hauptschwerpunkt der praktischen Tätigkeiten waren die im Lastenheft final zu definierenden Anforderungen an die gedruckten Batterien, ausgehend von den vorab experimentell ermittelten Parametern (z. B. Spannung, Kapazität etc.). Insgesamt wurden in der Projektlaufzeit mehr als 50 komplexe in vitro Versuche mittels Permeationsanlage und HPLC-Analytik durchgeführt.

Darüber hinaus erfolgte die Herstellung von Prototypen für die elektronische Steuerung des Applikationssystems. Die in vitro Versuche mit diesen Prototypen zeigten die gewünschte Funktionalität. Es erfolgten zudem mehrere Belastungsversuche unterschiedlicher Muster-Batterien, welche vom Fraunhofer-Institut ENAS zur Verfügung gestellt wurden. Diese konnten im Hinblick auf die Verwendbarkeit für die zukünftige Steuerung untersucht werden. Zudem wurden vergleichbare Messungen mit anderen Batteriekonzepten durchgeführt, um eine Gegenüberstellung zu erarbeiten.

Besonders hervorzuheben ist die Zusammenarbeit zwischen den Partnern, wie beispielsweise VOWALON, dem Fraunhofer-Institut ENAS und dem Universitätsklinikum der Ruhr-Universität Bochum. Hier konnten im Zu-

sammenhang mit dem Vorhaben etliche Zuarbeiten von Seiten der Endomedica erfolgen, die das Vorhaben des Universitätsklinikums und deren Zielerreichung unterstützten. Die Substrate von VOWALON wurden vom Fraunhofer-Institut mit leitfähigen Strukturen beschichtet und der Endomedica zugesandt. Hier wurden diese mit bio-kompatiblen Adhäsiv beschichtet und anschließend an die Ruhr-Universität versandt. Insbesondere die verbesserten Batterien des Fraunhofer-Instituts mit den Silbergittern erfüllten die geforderten Parameter in Bezug auf Strombelastbarkeit, Spannung und Kapazität. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass diese Batterien für die elektronisch gesteuerte transdermale Applikation eingesetzt werden können.

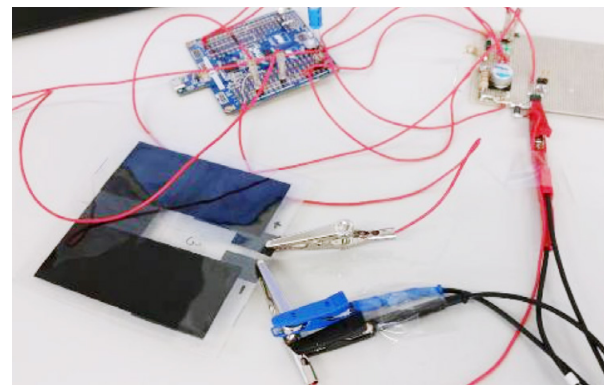


Abbildung 10: Entwicklungsschaltung (oben links: Steuerelektronik, oben rechts: elektrische Simulation, Pflaster), getrieben von gedruckter Batterie (links, schwarze Fläche). Quelle: Endomedica

Alle Ergebnisse laufen zusammen in einer universellen Plattform, die bestehend aus ihren Einzelkomponenten anwendungsspezifisch zusammengestellt werden können. So können Energiequellen sowohl auf polymeren als auch auf textilen Trägermaterialien aufgebaut werden. Eine Optimierung für den Wirkstofftransport wurde vom Partner Endomedica gezeigt. Auf dem textilen Träger lassen sich Leiterbahnen, kapazitive Flächenelemente und Antennen realisieren, deren Funktion durch eine Schutzschicht geschützt werden kann und deren Funktion auch körpernah verifiziert worden ist. Damit existiert eine Art Baukasten, mit dessen Elementen auch neuartige Applikationen realisiert werden können.

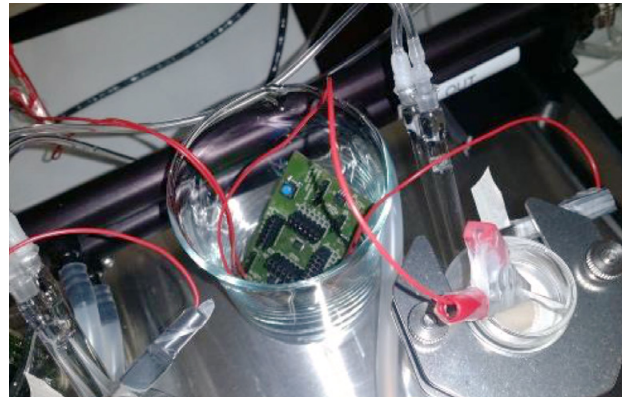


Abbildung 11: Versuchselektronik (mitte, grün) treibt reale Versuchszelle (rechts), um den Wirkstofftransport zu untersuchen. Quelle: Endomedica

➤ Verwertung und wirtschaftliche Bedeutung

Alle Partner partizipieren an der Verwertung aufgrund der eigenen und der gemeinschaftlichen Ergebnisse. Durch das Zusammenwirken aller Aktivitäten in Form einer einheitlichen Plattformlösung gibt es eine Basis, deren Einzelkomponenten für sich oder auch im Zusammenspiel eine gute Ausgangsbasis für eine Vermarktung darstellen.

Die industriellen Partner haben neuartige Einsatzmöglichkeiten ihrer bestehenden bzw. neuen Produkte kennengelernt, die sie auch weiterhin aktiv vermarkten. Für die zeitnahe Umsetzung waren viele Ergebnisse zu grundlagenlastig, sodass weiterer Entwicklungsaufwand bis zum Markteintritt getätigt werden muss. Hier gibt es aber bereits mit mehreren potenziellen Kunden konkretere Gespräche über Realisierungsmöglichkeiten. Die Forschungseinrichtungen konnten ihre Kompetenzen hinsichtlich des drucktechnischen Auftrags von Funktionsmaterialien auf die neue Materialklasse der Technischen Textilien erweitern. Dies bietet einen Erfahrungsschatz für Forschung und Lehre. Die erworbene Kompetenz steht für zukünftige Anforderungen industrieller Partner zur Verfügung und kann

zielführend angeboten und eingesetzt werden. Die Technische Universität Chemnitz stärkt ihre bereits vorhandenen, wissenschaftlichen und technischen Kompetenzen im Bereich der digitalen, additiven Fertigung. Die wesentlichen wissenschaftlichen Ergebnisse konnten auf internationalen Konferenzen veröffentlicht werden. Die Thematik wurde in die studentische Projektarbeit integriert, um aktuelles, forschungsnahes Wissen zu vermitteln. Weiterhin wird das gewonnene Know-how in die zukünftige Lehre einfließen. Die Akquise von Nachfolgeprojekten zur Fortführung der Forschung im Bereich gedruckter Elektronik auf textilen Flächegebilden wird angestrebt.

Für die Beurteilung der Verwertbarkeit bzw. der wirtschaftlichen Bedeutung bei Endomedica muss die Pilotstudie im dritten Quartal 2019 in Aussicht gestellt werden. Unter der Voraussetzung, dass diese Studie erfolgreich durchgeführt werden kann, soll anschließend die klinische Studie vollzogen werden. Die Herstellung des elektronischen transdermalen Applikationssystems der Endomedica beruht zunächst auf der Verwendung von

Fentanyl als Wirkstoff zur Schmerztherapie. Bei dem angestrebten Marktanteil der Endomedica werden ab dem Jahr 2022 etwa 100.000 Stück pro Jahr hergestellt. Eine Steigerung des Marktanteils von 2 Prozent pro Jahr kann in Aussicht gestellt werden. Weitere 100.000 Stück pro Jahr sollen bei der Anwendung dieses elektronischen Applikationssystems zur postoperativen Schmerztherapie hergestellt werden. Die Markteinführung ist ebenfalls für 2022 vorgesehen. Eine Steigerung von 2 Prozent pro Jahr ist auch für diese Anwendung angestrebt.

Für VOWALON ergeben sich vielfältige Einsatzmöglichkeiten in sehr unterschiedlichen Anwendungsgebieten: Im Bereich der Hygienetextilien kann beispielsweise Matratzenschutz mit Drucksensoren für die Überwachung von Dekubituspatienten eingesetzt werden. Im Bekleidungsbereich kommen sowohl für den professionellen Anwender als auch für den Freizeitbereich Materialien in Betracht, welche die Körperfunktionen überwachen, beispielsweise Körpertemperatur und Herzfrequenz. Weiterhin ist die Vorstellung des Materials für Kunden im Automobilbereich geplant. Auch hier ergeben sich vielfältige Anwendungsgebiete. So können Druck- und Temperatursensoren im Autositz die Beheizung regulieren. Sensoren

im Türpaneel können zum Öffnen und Schließen der Fenster sowie zum Einstellen der Fahrzeugspiegel eingesetzt werden. Im Bereich der von VOWALON hergestellten, technischen Folien steht die Ableitfähigkeit des Materials im Fokus der Entwicklung. Diese kann durch aufgedruckte, leitfähige Strukturen erzeugt werden, wodurch eine elektrostatische Aufladung verhindert wird. Dies ist im Umgang mit Gefahrstoffen von extremer Wichtigkeit.

Der zeitliche Ablauf der Verwertung ist wie folgt vorgesehen: Im Jahr 2019 wird intensiv die prototypische Entwicklung vorangetrieben. 2020 sollen die Produkte den Kunden in den unterschiedlichen Bereichen vorgestellt und erste Produktionen durchgeführt werden. Nach erfolgreicher Einführung wird im Jahr 2021 im Bereich der Hygiene-Artikel ein Umsatzziel in der Größenordnung von 5 Prozent der Bekleidungsartikel und 10 Prozent der technischen Artikel angestrebt. In den Folgejahren rechnet VOWALON mit einer jährlichen Steigerung des Umsatzes von 3 Prozent. Im Automobilbereich ist eine längerfristige Zeitschiene vorgesehen. Die Anwendungen können von den Herstellern bei einem Modellwechsel übernommen und in die Marketingstrategie integriert werden.

➤ Ausblick

Die Vorhabenspartner erwarten, dass durch die Ergebnisse von leiTEX eine nachhaltige Verwertung ermöglicht wird. Die Etablierung der Entwicklungsplattform und der Technologieansatz, dass Drucktechnik für den strukturierten Auftrag von Funktionsmaterial eingesetzt werden kann, bilden hierfür die Grundlage. Es ist davon auszugehen, dass die Nachfrage von elektrischen Lösungen im Bereich funktionaler Textilien zunehmen wird. Hier hat leiTEX entscheidende Grundlagen gelegt, welche zukünftig zusammen mit Anwendern zur spezifischen Problemlösung weiterverfolgt werden können. Ist die Markteinführung des elektronischen transdermalen Applikationssystems auf Fentanyl-Basis durch Endomedica erfolgreich durchgeführt, sollen parallel dazu weitere Wirkstoffe für diese

Art der Wirkstoff-Freisetzung getestet werden. Es ist daher möglich, dass weitere Märkte erschlossen werden können, die einen Bedarf an gedruckten Batterien weiter steigern.

In der Verwertungsstrategie von VOWALON wird im ersten Schritt eine Markteinführung der leitfähig funktionalisierten Textilien im Bekleidungsbereich und dem Marktsegment der Hygienetextilien angestrebt. In weiteren Schritten wird die Ausweitung der Produktpalette in alle weiteren Produktgruppen angestrebt. Zuvorderst sei hier der Einsatz im Automobilkunstleder genannt. Hier ist mittel- und langfristig das größte Marktvolumen für die leitfähigen Textilien im Produktportfolio von VOWALON zu erwarten.

➤ Impressum

Konsortialführer Projekt futureTEX:

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)
An-Institut der Technischen Universität Chemnitz
Geschäftsführung: Dipl.-Ing.-Ök. Andreas Berthel

Postanschrift:

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)
Postfach 13 25
09072 Chemnitz

Besucheradresse:

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)
Annaberger Straße 240
09125 Chemnitz

Kontakt:

Projektleitung: Dirk Zschenderlein
E-Mail: dirk.zschenderlein@stfi.de
Tel.: +49 371 5274-283
Fax: +49 371 5274-153
www.futuretex2020.de

Verbundkoordinator Umsetzungsvorhaben leiTEX:

Fraunhofer-Institut für Elektronische Nanosysteme (ENAS)
Technologie-Campus 3
09126 Chemnitz
Ansprechpartner: Dr. Andreas Willert
Tel.: +49 371 45001-440
E-Mail: andreas.willert@enas.fraunhofer.de

Lektorat und Gestaltung:

P3N MARKETING GMBH
Deubners Weg 10
09112 Chemnitz
Tel.: +49 371 243509-00
Fax: +49 371 243509-19
E-Mail: info@p3n-marketing.de

