

KURZVERÖFFENTLICHUNG

Dehnbare, diffusionshemmende Beschichtungen für
textilintegrierte, textilbasierte elektrische Strukturen

Autoren: Dr. Volkmar v. Arnim
Dr. Valérie Bartsch
Dr. Thomas Fischer
Dr. Marcus Winkler
PD Dr. - Ing. Thomas Stegmaier
Dr. Michael Haupt
Prof. Dr.-Ing. Götz T. Gresser

Forschungsstellen: DITF - Institut für Textil- und Verfahrenstechnik
DITF - Zentrum für Management Research

Erschienen: 30.06.2020

Bearbeitungszeitraum: 01.01.2018 – 29.02.2020

Zusammenfassung

Ein breiter Marktzugang von Smart Textiles wird oft dadurch behindert, dass die elektrischen Funktionselemente durch Belastungen wie Dehnen und Reiben beschädigt werden, oder auch durch chemische Einflüsse vorzeitig zerstört werden. Hohe Beanspruchungen können dabei sowohl im Gebrauch, z.B. durch Bewitterung und Scheuern, als auch in der Pflege, z.B. beim Waschen auftreten. Für wichtige Märkte, z. B. Funktionsbekleidung, Medizin, Interieur, Architektur haben sich daher textile elektronische Elemente wie Sensoren, Aktoren oder andere intelligente Funktionen noch nicht breit durchgesetzt.

Im Rahmen der Industriellen Gemeinschaftsforschung wurden deshalb die Anwendungspotenziale von schützenden Beschichtungen für Smart Textiles Komponenten mit dem kombinierten Eigenschaftsprofil flexibel, wasserdampfdicht, waschbeständig und abriebbeständig untersucht. Durch Additivierung wasserbasierter Bindersysteme mit Schichtsilikaten wurde die chemische Barrierewirkung der Schutzschichten erhöht und gleichzeitig eine Applikation durch Siebdruck ermöglicht. Durch eine genaue Anordnung und Positionierung dieser dünnen diffusionshemmenden Schichten gegenüber gedruckten Leiterbahnen sowie durch die Entwicklung einer angepassten Kontaktierungsmöglichkeit

gelang eine siebdruckbasierte Herstellung von Smart-Textiles-Demonstratoren zum Nachweis der Funktionalität.

Um solche technischen Entwicklungen zu echten, erfolgreichen Innovationen weiterzuführen, wurden parallel systematisch Anwendungsmöglichkeiten von Smart Textiles für verschiedene Einsatzbereiche untersucht und auf Märkte mit hohem Potenzial verdichtet. Der Erfolg der Entwicklungen wurde mit der Anwendung ‚Leuchtschrift für Markisen‘ mit den Anforderungen aufrollbar, wetterbeständig, beidseitige Anbringung demonstriert.

Diese Ergebnisse nützen vielen Unternehmen der textilen Kette, um der prognostizierten Steigerung der Nachfrage nach druckbaren, elektrisch leitfähigen Beschichtungen mit hoher Haftung und Dehnbarkeit sowie leitfähigen Garnen nachzukommen. Zum Beispiel können Textildrucker ihre traditionell modisch orientierte Produktpalette um textile Platinen erweitern. Ebenso werden Konfektionäre unabhängiger von modischen Textilien und können sich mit Hilfe der Entwicklungs- und Fertigungskompetenzen von Smart Textiles auf dem Weltmarkt besser positionieren.

Ergebnisse

Die Entwicklung von hochflexiblen und diffusionshemmenden Beschichtungen für elektrische Funktionselemente in Textilien ist ein Schlüssel für einen breiten Marktzugang von Smart Textiles. Dadurch werden Anwendungen im Bereich textiler Elektronik oder intelligenter Funktionsbekleidung ermöglicht, in denen die elektrisch aktiven Schichten bislang durch mechanische und chemische Belastung während Verarbeitung, Gebrauch und Pflege (Waschen) vorzeitig zerstört werden.

Obwohl für viele Anwendungen noch keine ausreichende Dauerhaftigkeit der Strukturen erreicht ist, wird die Integrationsstufe der elektrischen und elektrophysikalischen Funktionen weiter stetig erhöht. Während anfangs noch hauptsächlich handelsübliche Sensoren und Aktoren auf das Textil mittels Näh- und Stickverfahren appliziert wurden, wird zunehmend versucht, die textile Struktur selbst als Energie- und Signalleiter, Sensor oder Aktor zu gestalten [i/ii]. Textilbasierte Sensoren werden z. B. durch Imprägnierung von Garnen mit leitfähigen Materialien oder durch Bedampfung von textilen Strukturen mit Metallen hergestellt. Die typischen verwendeten metallischen Materialien wie Stahl, Kupfer und auch eingeschränkt Silber sind korrosionsanfällig. Bei Kontakt mit Sauerstoff bilden sich zumindest Oxidschichten, welche die elektrische Leitfähigkeit insbesondere über Kontaktstellen hinweg verringern. Durch Feuchtigkeitseintrag werden diese

Korrosionsvorgänge beschleunigt und intensiviert sowie bei elektrisch leitfähigen Polymeren deren elektrische Leitfähigkeit verringert. Limitierend für Smart-Textiles Anwendungen sind demzufolge Korrosionserscheinungen, Feuchtigkeitseinlagerungen, nicht-isolierte Leiter, freiliegende Metallisierungen sowie unflexible und steife Strukturen. Problematisch sind dabei oft die Kontakte und Übergänge zwischen flexiblen und starren Strukturen. Meist betrifft dies Verbindungen zwischen Funktionselement und Leiterbahn. Es fehlen somit sichere Lösungen insbesondere für den Schutz flexibler bzw. elastischer Leiterbahnen vor Wasserdampf und Sauerstoff unter Beibehaltung der Dehnbarkeit und dünnem Schichtauftrag und mechanischer Belastung.

Die Projektziele waren deshalb neuartige flexible schützende Beschichtungen für elektrische Funktionselemente in Textilien, welche die textiltypischen Eigenschaften von Smart Textiles (Flexibilität, Formanpassung, textiler Griff, usw.) erhalten, und gleichzeitig die Dauerbiegefestigkeit, Waschbarkeit und dauerhafte Funktionalität gewährleisten.

Auf Basis einer aktualisierten Materialrecherche erfolgte die Recherche, Bewertung und Beschaffung von sechs barrierefilmbildenden Dispersionen und sieben Barrierepigmentsystemen auf Basis von Schichtsilikaten. Für die leitfähigen Garnvarianten wurden zwei Marktprodukte Shieldex (Polyamid mit Silberbeschichtung) und Ultralastic (Aramid+Edelstahlfilament) festgelegt und beschafft. Ebenfalls wurden leitfähige Druckpasten recherchiert und zwei Varianten beschafft: eine wasserlösliche an den DITF hergestellte Silberpaste und die kommerzielle lösungsmittelhaltige Silberpaste 200-05 der Firma Dico Electronic GmbH. Für die Herstellung und grundlegende Charakterisierung der Beschichtungscompounds diente ein umfangreiches Screening von mehr als 50 Formulierungen. An diesen wurden insbesondere Filmbildung sowie Flexibilität und Barrierewirkung der Filme geprüft und beurteilt. Mittels eincompoundierter Schichtsilikate wurde die Wasserdampfdurchlässigkeit der Beschichtungsfilme um über 90% gegenüber dem nicht-additiven Compound verringert.

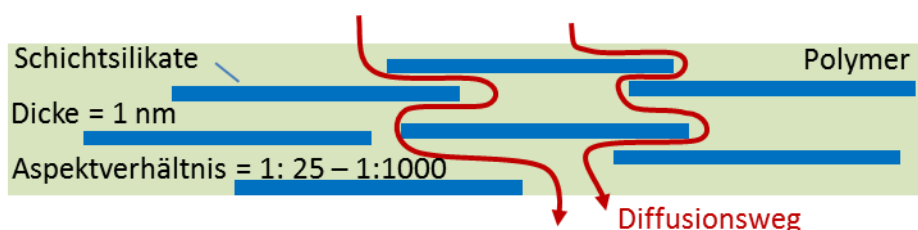


Abbildung 1: Modell des verlängerten Diffusionswegs („tortuous path“) für Polymer-Schichtsilikat-Composits

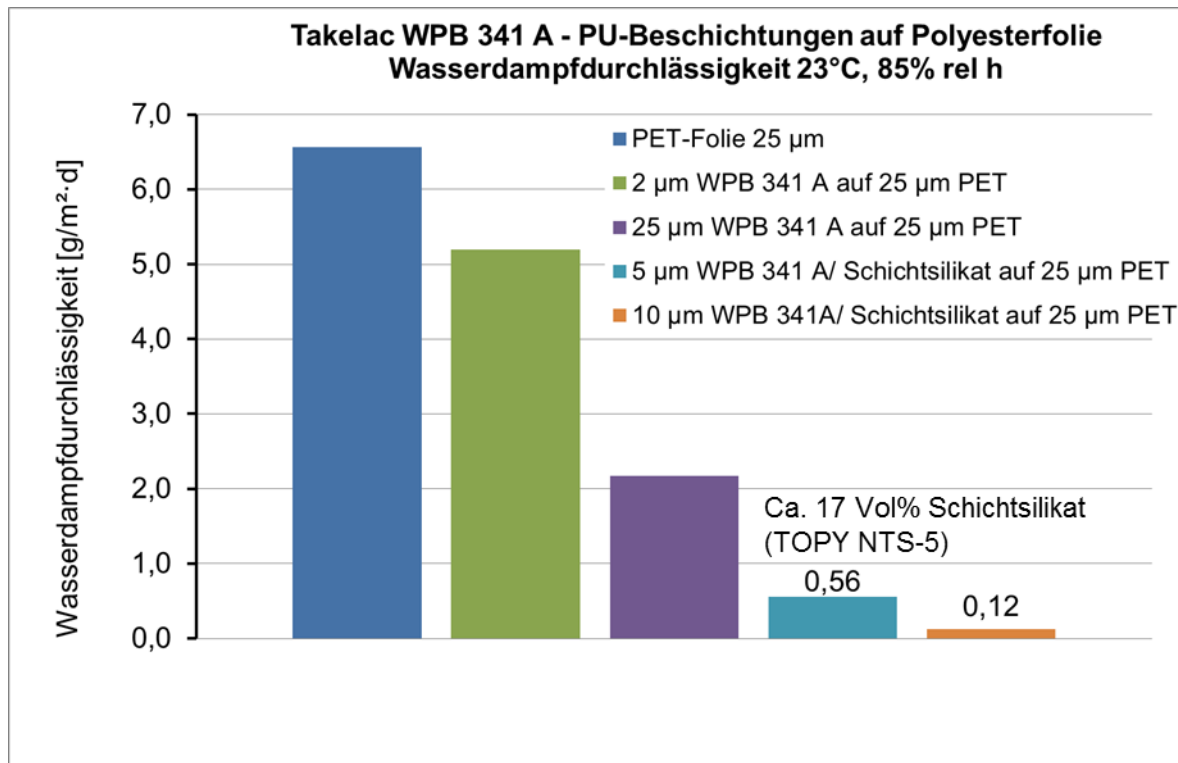
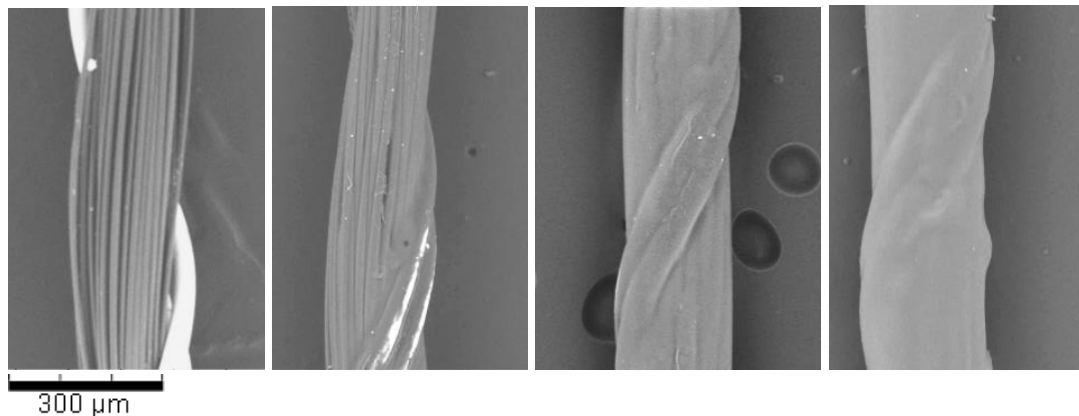


Abbildung 2: Wasserdampfdurchlässigkeiten verschiedener Beschichtungscompounds auf Basis des Polyurethans Takelac WPB 341 A im Vergleich zu 25 µm dicker Polyesterfolie

Die für das Projekt angestrebte Wasserdampfbarriere von 0,1 – 1 g/m²·d wurde dadurch erreicht. Hierfür waren allerdings Schichtsilikate mit sehr hohem Aspektverhältnis notwendig, welche gleichzeitig zu einer Versprödung der Beschichtung führten. Flexible Barrierschichten gelangen deshalb insbesondere durch die Anwendung von Mehrlagenbeschichtungen. Die eingesetzten Schichtsilikate wirkten zudem als Rheologieadditiv. Die dadurch höherviskosen, scherverdünnenden Pasten erwiesen sich als siebdruckfähig. Aus den zahlreichen Compoundvarianten wurden im Wesentlichen 5 Pasten für Beschichtungsversuche an Garnen und Flächen identifiziert. Die Beschichtung und Ummantelung der elektrisch leitfähigen Garne wurde mit diesen rheologisch angepassten Compounds im Ein- und Mehrlagenverfahren untersucht. Im Labormaßstab wurden über kurze Garmlängen hinweg geschlossene Garnbeschichtungen realisiert (Abbildung 3).



unbeschichtet

1-lagig
elastische
Grundsicht
(el. GS)

2-lagig
1. el. GS
2. diffusionshemmende
Schicht (diff Barr)

3-lagig
1. el. GS
2. diff Barr
3. el. GS

Abbildung 3: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme beschichteter leitfähiger Garne

Bei Beschichtungsversuchen im Technikumsmaßstab mit einer für diese Art der Beschichtung nur eingeschränkt tauglichen Einzelfadenbeschichtungsanlage konnte eine durchgängig geschlossene Beschichtung nicht erreicht werden. Dieser Nachweis gelang mittels Rasterelektronenmikroskopie und elektrochemischem Pinhole-Test. Die weitergehenden Projektarbeiten und Demonstratorherstellung erfolgten daher mit dem zielführenderen Siebdruckansatz auf textilen Flächen.

Für die Siebdruckversuche wurden mittels statistischer Versuchsplanung die geeigneten Druck- und Trocknungsparameter ermittelt. Ein gleichmäßiger und reproduzierbarer Druck der Leiterbahnen sowie der Schutzschichten gelang durch den Einsatz eines Siebdruckkarrussels. An diesem wurden Prozederen zur genauen Positionierung der Schutzschichten und der leitfähigen Schicht zueinander entwickelt.

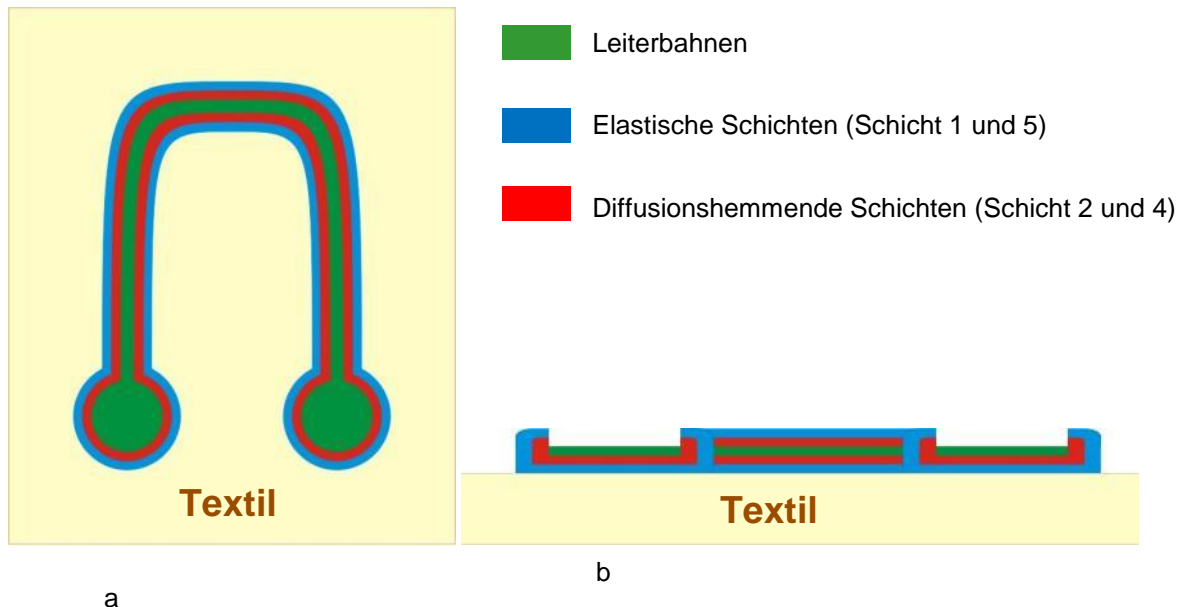


Abbildung 4: Druckmuster mit Leiterbahnen: a- Draufsicht, b- Querschnitt

Wie bei den Garnen erfolgte die Qualitätskontrolle der gedruckten Muster durch Pinhole-Test und REM-Aufnahmen. Anhand des Siebdruckkarrussels gelangen gedruckte und geschützte Leiterbahnen mit durchgängigen und homogenen Schutzschichten.

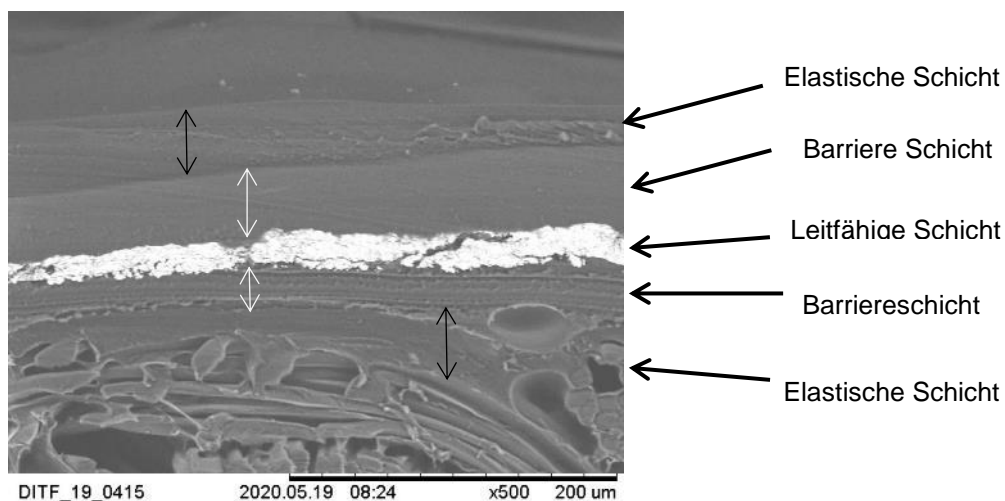


Abbildung 5: REM-Aufnahmen von einem beschichteten Druckmuster im Querschnitt

Für die Kontaktierung einer LED mit Leiterbahnen wurden geeignete leitfähige Klebstoffe ermittelt. Die LED konnte während des Druckprozesses kontaktiert und geschützt werden. Eine zuverlässige und reproduzierbare Kontaktierung zur Energieversorgung erfolgte über einen Druckknopf. Zwei Methoden wurden eingesetzt um beschichtungsfreie Kontaktierungsflächen zu erhalten. Einerseits wurden die Schutzschichten an der Kontaktstelle mit einem CO₂-Laser nach dem Druckprozess entfernt. Andererseits konnten durch geeignete Druckschablonen Kontaktierungsflächen direkt während des Druckprozesses erzeugt werden. Der Einsatz eines zusätzlichen leitfähigen Klebstoffs sorgte für eine zuverlässige niederohmige Kontaktstelle zwischen dem Druckknopf und der Kontaktierungsfläche.

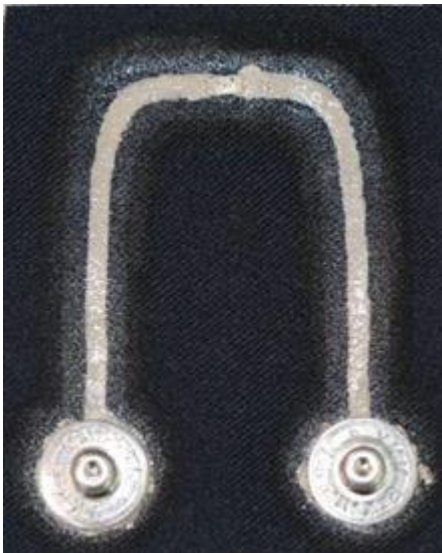


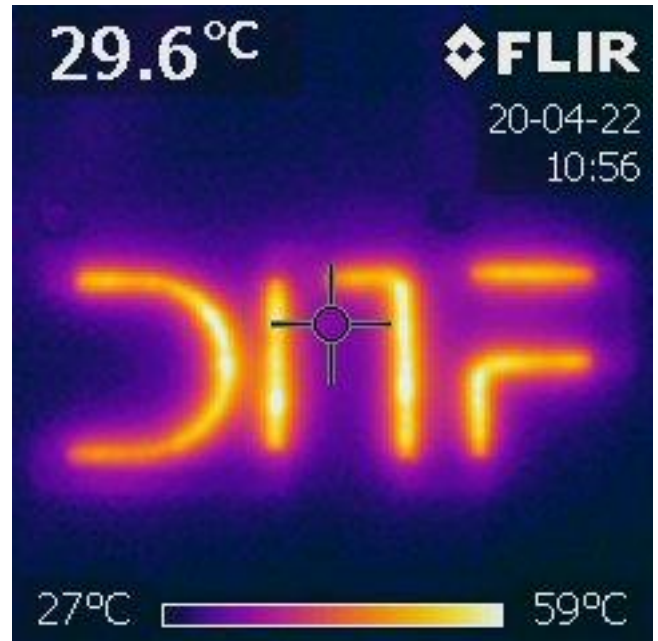
Abbildung 6: Druckmuster mit kontaktierter LED

Tests an den gedruckten Systemen erfolgten durch Prüfung der Wasserdichtigkeit der gedruckten Schutzschichten in Anlehnung an DIN EN ISO 81111:2018-08, durch Prüfung der Scheuerbeständigkeit von gedruckten und geschützten Leiterbahnen laut DIN EN ISO 12947 und durch Waschversuche in Anlehnung an DIN EN ISO 6330:2012. Dabei erwiesen sich doppelt-gedruckte Muster laut der Normen EN 343:2003 und DIN ISO 10966 als wasserdicht. Die geschützten Leiterbahnen wiesen eine extrem hohe Scheuerbeständigkeit auf (nach 85.000 Scheuertouren: keine feststellbare Beschädigung der geschützten Proben). Die Schutzschichten verbesserten die Beständigkeit der Proben. Dennoch wurden die Schutzschichten während des Waschprozesses weich und konnten Rissbildungen in der leitfähigen Paste nicht verhindern. Die Proben hielten bis zu 15 Waschgänge aus.

Final wurden drei Demonstratoren aufgebaut. Als Demonstrator wurde das DITF-Logo zum einen aus leitfähigen Leiterbahnen und LED sowie zum anderen aus heizbaren Leiterbahnen und thermochromer Farbe hergestellt.



A Makroskopische Aufnahme



B Infrarotaufnahme mit einer Wärmebildkamera bei einem Stromfluss von 6,7 mA

Abbildung 7: Demonstrator 2: Beschichtetes heizendes Textil



Abbildung 8: Demonstrator 3: Einsatz einer thermochromen Paste

Auf Basis der technischen Ergebnisse im Rahmen des Vorhabens erfolgte die systematische Suche nach Branchen und Einsatzbereichen. Dabei wurden folgende Sektoren identifiziert:

- Spannbare textile Membranen im Gebäudebereich.
- Sensorische, aktorische Fahrzeuginterieurtextilien.
- Intelligente Textilien für Faserverbundstrukturen.
- Intelligente Bekleidung für Health Care, Sport, Freizeit sowie Schutzbekleidung.
- Textilintegrierte Leiter- /Verbindungstechnik.
- Textile Tastaturen, Covers und selbstleuchtende Textilien.
- Heimtextilien/Gebäudeinterieur wie funktionale Bauelemente, Wand- und Deckenverkleidungen.

Daraus und nach erfolgreichen Funktionstests (wie Beständigkeit, Wasserdichtigkeit, Waschbarkeit, Temperaturbeständigkeit (-20°C bis +80°C) u. a.) ergab sich ein wirtschaftlich erfolgversprechender Einsatzbereich: die Leuchtschrift auf Markisen.

Ausschlaggebend hierfür war auch, dass das wirtschaftliche Risiko bei der Ergänzung von bestehenden Produkten (Markisen) in bestehenden Märkten – eine sogenannte horizontale Diversifikation – für KMU noch überschaubar und am ehesten bewältigbar ist.

Die Analyse der Markt- bzw. Produktstruktur, Markttreiber, Prognosen und Wettbewerber zeigt die Chancen und ein gesteigertes Nachfrageverhalten[iii], was auch auf die Hitzewellen während der Sommermonate in den vergangenen Jahren zurückzuführen ist, die vielerorts zu den höchsten Temperaturen seit Beginn der Wetteraufzeichnungen führten[iv]. Auch nimmt die Motorisierung bei Markisen stetig zu: im Jahr 2018 stieg beispielweise der Absatz motorisierter Produkte, wie motorisierte Sonnensegel, um 2,5 Prozent[v]. Des Weiteren stieg der Onlinehandel bei innenliegenden Beschattungen 2018 stark an, was ebenso auf die gesteigerte Nachfrage im privaten Sektor hinweist[vi].

Es bietet sich also an den Einsatz für gewerbliche und private Zwecke, wie Beleuchtung der Markisen auf der Unterseite für Logos, Werbung, allgemeinte Informationen (Wettervorhersage ...) und/oder Beleuchtung der Markisen auf der Oberseite für Logos etc. weiter zu verfolgen und marktfähige Lösungen zu entwickeln.

Danksagung

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 19734 N der Forschungsvereinigung
Forschungskuratorium Textil e.V., Reinhardtstraße 14-16,
10117 Berlin wurde über die AiF im Rahmen des
Programms zur Förderung der industriellen
Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund
eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
gefördert.

Unser Dank gilt außerdem folgenden Firmen für die freundliche Unterstützung:

- AMOHR Technische Textilien GmbH
- BYK Additives & Instruments
- CHT R. BEITLICH GMBH
- DIENES Apparatebau GmbH
- GSB Wahl GmbH
- Hubert Schmitz GmbH
- Jowat SE
- Lefatex-Chemie GmbH
- Mitsui Chemicals Europe GmbH
- Recytex GmbH & Co KG
- Roma Strickstoff Fabrik
- W. Zimmermann GmbH

Der Abschlussbericht des Forschungsvorhabens 19734 N ist an den Deutschen Instituten
für Textil- und Faserforschung Denkendorf (DITF) erhältlich.

Ansprechpartner

Valérie Bartsch, valerie.Bartsch@ditf.de

[i] Morris, D. et al.(2009), Bio-sensing textile based patch with integrated optical detection
system for sweat monitoring, In *Sensors and Actuators B: Chemical*, 139 (1). pp. 231-236.

[ii] Zschenderlein, D., Möhring, U., Gimpel, S., Neudeck; A. und Scheibner, W. (2006), Leitfähige Funktionen von Schmaltextilien und deren Einsatzbereiche, Narrow Fabrics Conference 6, S. 103-109.

[iii] <https://www.branchenradar.com/de/studien/bauelemente-und-technik/sonnenschutzsysteme-in-deutschland-2020/> (letzter Seitenaufruf 26.05.2020)

[iv] <https://www.raumausstatter.com/markisen-nehmen-fahrt-auf/> (letzter Seitenaufruf 26.05.2020)

[v] Umsatzplus für Sonnenschutz: Signifikate Zuwächse in 2018 (27.05.2019), https://www.metallbau-magazin.de/news/umsatzplus-fuer-sonnenschutz_3374637.html (letzter Seitenaufruf 26.05.2020)

[vi] <https://www.suedwesttextil.de/nachrichten/branchenreport-sonnenschutz-19>, (letzter Seitenaufruf 26.05.2020)