

Schlussbericht zum Verbundvorhaben

sensIC

Eindeutige Identifizierbarkeit für vertrauenswürdige Hybrid-Sensorelektronik mit Hilfe additiver Fertigung

Teilvorhaben:

Direktdruck flexibler Elektronikstrukturen für medienführende Schlauchsysteme

Förderkennzeichen	16ME0299K
Förderzeitraum	01.05.2021 - 31.07.2024
Ausführende Stelle	Benecke-Kaliko AG
Projektleitung	Dr.-Ing. Tim Wolfer

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

Inhalt

I.	Kurze Darstellung.....	3
1.	Aufgabenstellung.....	3
2.	Planung und Ablauf des Vorhabens	3
3.	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	4
4.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	4
II.	Eingehende Darstellung.....	5
1.	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	5
2.	Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	13
3.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	13
4.	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	13
5.	Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	14
6.	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 11.....	14

I. Kurze Darstellung

1. Aufgabenstellung

Das Ziel des Gesamtvorhabens ist die exemplarische Integration eines vertrauenswürdigen Sensorsystems in ein flexibles Schlauchsystem. Die Benecke-Kaliko AG trägt in drei Teilgebieten signifikant zur Umsetzung dieses Forschungszieles bei:

1. Der Direktdruck elektrisch leitfähiger Strukturen mit großem Durchsatz und zu niedrigen Stückkosten ist der zentrale Enabler einer industriellen Umsetzung des angestrebten Sensorsystems. Im Rahmen dieses Teilvorhabens untersucht das neugegründete Center for Functional Printing Technologies (CFPT) der Benecke-Kaliko AG den Direktdruck von elektrisch leitfähigen Strukturen für medizinführende Schlauchsysteme.
2. Die Anforderungen an die Sensorsysteme ergeben sich zum einen aus der Nutzung in Schlauchsystemen, zum anderen aus den Rahmenbedingungen der Fertigungstechnik. Das CFPT der Benecke-Kaliko AG bringt diese beiden Perspektiven sowohl in die Konzeptionierung der Sensorik als auch in die Planung von möglichen Fertigungsstrategien ein.
3. Als Verbundkoordinator übernimmt die Benecke-Kaliko AG die Abstimmung aller Teilvorhaben und wirkt darauf hin, dass das Zusammenspiel der einzelnen Forschungsansätze in einem gemeinsamen, tragfähigen Projektergebnis mündet. Als exemplarische Umsetzung und übergreifende Orientierungshilfe wird ein Technologiedemonstrator umgesetzt, welcher die gemeinsamen Arbeitsergebnisse widerspiegelt.

Das Ziel des Teilvorhabens ist die erfolgreiche Umsetzung und Validierung einer Fertigungs- und Integrationsstrategie für vertrauenswürdige, integrierte Sensorsysteme. Dieses Ziel trägt technologisch entscheidend zur angestrebten Transformation der konzernweiten Produktbasis mit dem Motto „Smart Solutions Beyond Rubber“ bei. Im Zuge dieser Strategie sollen gummi- und elastomerbasierte Produkte mit Intelligenz und Sensorik ausgerüstet werden, um zusätzliche Funktionen zu integrieren und die Produkte zu digitalisieren.

2. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Arbeit im Projekt ist in Arbeitspaketen (AP) strukturiert. Im Verlauf der Arbeitspakete bringt die Benecke-Kaliko AG zunächst im AP1 die Anforderungen ein, die sich aus der drucktechnischen Fertigung ergeben. Im AP2 werden die drucktechnischen Prozesse des Inkjetdruckes angereichert mit metallisierten Substraten aus dem Sieb- bzw. Tiefdruck. In AP3 wird die Spezifikation der Sensor-ICs im Hinblick auf die (Klein-)Serienfertigung eingebracht. Das AP4 enthält die umfangreichsten Arbeiten im Bereich der drucktechnischen Metallisierung und Bestückung der Elastomersubstrate sowie die anschließende Qualifikation der Leistungsfähigkeit des Systems. In AP5 werden die Strukturen von ContimGW in Schläuche integriert. Die Benecke-Kaliko AG liefert bei diesen Arbeiten die fertigungstechnische Expertise bei zur kurzfristigen Anpassung von Fertigungsprozessen. Dabei werden insbesondere die Layouts der Substratmetallisierungen im Hinblick auf die Sensorintegration und Zuverlässigkeit optimiert. In AP6 wird untersucht, welchen Einfluss die Belastungsprüfung der Schlauchstrukturen auf die Performance der gedruckten elektrischen Schaltungen hat. Ebenso wird die fertigungstechnische Expertise im Bereich gedruckter Antennenstrukturen eingebracht, um eine vollintegrierte Wireless-Anbindung mittels RFID zu untersuchen.

Im Teilprojekt wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Integration eines vollständigen Sensorsystems in eine Schlauchleitung
- Montage eines Demonstrators mit gedruckter PUF-Struktur, drahtloser Kommunikationseinheit und Sensorsystem

- Erfolgreicher Test und Charakterisierung des Demonstratorsystems

3. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Es wurden keine externen Schutzrechte genutzt. Im Rahmen des Projektes wurden eigene Schutzrechte angemeldet (siehe Erfolgskontrollbericht).

Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

DIN 73411-2:1996-10 Kühlmittleitungen in Kraftfahrzeugen - Schläuche und Schlauchbogen - Teil 2: Anforderungen, Prüfung.

4. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Benecke-Kaliko AG arbeitet intensiv mit den Verbundpartnern zusammen. Darüber hinaus werden vielfältige Kontakte zu Material-, Tinten- und Maschinenherstellern gepflegt, um die technologische Basis für die geplante Umsetzung sicherzustellen.

Gegen Ende des Projektes erfolgte eine firmeninterne Restrukturierung. In diesem Zuge wurde das Center for Functional Printing Technologies der Benecke-Kaliko AG in die ContiTech Deutschland GmbH transferiert. Innerhalb der neugegründeten Abteilung Embedded Systems werden die Arbeiten zukünftig inhaltlich fortgeführt.

II. Eingehende Darstellung

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

Im Antrag wurden die Projektziele einzelnen Arbeitspaketen zugeordnet. Im Folgenden wird der wissenschaftlich-technische Fortschritt anhand der Arbeitspakete, an denen der Zuwendungsempfänger beteiligt ist, dokumentiert und mit den ursprünglich geplanten Zielen abgeglichen.

Arbeitspaket 1

Im Rahmen des Projektantrages wurde definiert, dass die Spezifikationen des Demonstrators in der ersten Phase erfasst und konsolidiert werden. Dieser Meilenstein 1 konnte abgeschlossen werden. Es befinden sich bei Abschluss des Meilensteins 46 abgestimmte Eigenschaften in der Spezifikationstabelle (siehe Abb. 1). Eine fortlaufende Versionierung erlaubt nachträgliche Anpassungen. Diese Anpassungen werden zentral koordiniert, damit keine unvorhergesehenen Änderungen auftreten können.

In diesem Arbeitspaket konnten vom ZE alle geplanten Ziele erreicht werden.

Nr.	Requirement	Unit	Value (our choice marked in blue)		Category
			Basic (Must)	Advanced (Nice to have)	
1	Measuring resolution of temperature sensor	K	1	0.1	Electronics/Sensor Performance
2	Response time of temperature sensor (T63)	s	20	4	Electronics/Sensor Performance
3	Temperature sensor accuracy (tolerance)	%	7	1	Electronics/Sensor Performance
4	Temperature Sensor: Sampling frequency	Hz	1	10	Electronics/Sensor Performance
5	Maximum temperature measurement value	°C	90	110	Electronics/Sensor Performance
6	Minimum temperature measurement value	°C	5	-20	Electronics/Sensor Performance
7	Sensitivity of temperature sensor resistance change	Ω/K	4		Electronics/Sensor Performance
8	Voltage supply for Cyient chip	V	3.3		Electronics/Sensor Performance
9	Voltage supply for LIN transceiver	V	12		Electronics/Sensor Performance
10	Voltage supply for micro controller	V	3.3		Electronics/Sensor Performance
11	Printed PUF supply voltage	V	1		Electronics/Sensor Performance
12	Printed PUF maximum input voltage	V	1		Electronics/Sensor Performance
13	Printed PUF minimum input voltage	V	0		Electronics/Sensor Performance
14	Printed PUF input voltage step size	V	0.2	0.1	Electronics/Sensor Performance
15	Offset voltage printed PUF comparator	mV	1	0.2	Electronics/Sensor Performance
16	Outer diameter of hose	mm	20		Geometry/Integration Concept
17	Inner diameter of hose	mm	16		Geometry/Integration Concept
18	Length of demonstrator hose	mm	360		Geometry/Integration Concept

Abbildung 1: Spezifikationstabelle von Demonstrator

Arbeitspaket 2

Der ZE untersucht, ob der Druck der PUF direkt auf Substraten erfolgen kann, die im CFPT drucktechnisch metallisiert wurden. Dazu sind grundlegende Druckversuche auf elastischen Substraten erforderlich und anschließend Charakterisierungen zur Performance des Fertigungsprozesses. Dazu werden Vorversuche auf Kapton- und TPU-Substraten durchgeführt. Das Ergebnis ist, dass die obengenannten Substrate prinzipiell geeignet sind, um die PUF-Strukturen zu tragen. Allerdings beabsichtigt der zuständige Projektpartner aus Gründen der Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit weiterhin auf bewährte Glassubstrate zu drucken.

In diesem Arbeitspaket konnten vom ZE alle geplanten Ziele erreicht werden.

Arbeitspaket 3

Der ZE bringt bei der Spezifikation der Sensor-ICs die fertigungstechnische Expertise zur Anbindung der elektrischen Schaltungen, zur mechanischen Belastbarkeit der metallisierten Substrate sowie zur informationstechnischen Anbindung ein.

In diesem Arbeitspaket konnten vom ZE alle geplanten Ziele erreicht werden.

Arbeitspaket 4

In diesem Arbeitspaket findet der größte Anteil der Arbeiten des ZE statt.

Von dem Partner MGW GmbH werden derzeit Schläuche auf der Basis von thermoplastischen Elastomeren gefertigt. Hier kommen Granulate zum Einsatz, welche im Extrusionsverfahren verarbeitet werden. Für die Zwecke in diesem Teilvorhaben ist es allerdings erforderlich, dass die Materialien in Folienform vorliegen. Leider stehen keine kommerziellen Produkte zur Verfügung, welche aus den gleichen Materialien bestehen und in Folienform angeboten werden. Nach längerer Recherche wurde daher beschlossen, die benötigten Folien innerhalb des Unternehmens selbst anzufertigen (siehe Abb. 2). Für diese Zwecke wurde eine Fertigungsanlage im Labormaßstab genutzt.



Abbildung 2: Granulate, Verarbeitung, fertige Substrate

Die angefertigten Substrate werden dem gesamten Verbund von der Benecke-Kaliko AG zur Verfügung gestellt. Die Folien haben eine Breite von 450 mm und eine Dicke von 200-400 μm .

Die obengenannten Substrate wurden zum Druck elektrischer Systeme genutzt (siehe Abb. 3). Als leitfähige Paste kam eine dehnfähige Silberpaste mit einer (Trocken-)Schichtdicke von ca. 20 μm zum Einsatz. Als Druckverfahren wurde der automatisierte Flachbetsiebdruck ausgewählt. Die Trocknung erfolgte mittels eines Warmluftofens.

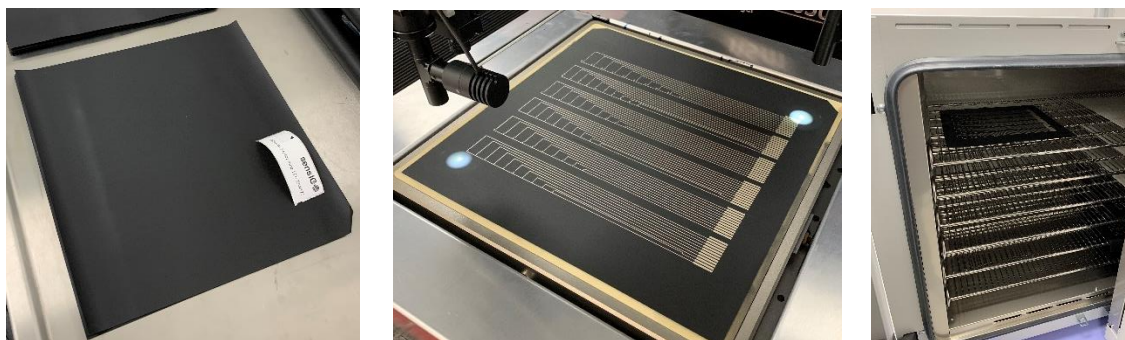


Abbildung 3: Substrate, Druck, Trocknung

Die gedruckten Systeme werden im weiteren Verlauf des Vorhabens zur Charakterisierung der Zuverlässigkeit, der elektrischen Kontaktierung und der Integration in die Schlauchsysteme genutzt.

Der Druck von Schaltungslayouts auf TPE/TPV-Substraten hat in der folgenden Charakterisierung nicht die erforderliche Haftfestigkeit erreicht. Aus diesem Grund wurde ein zweiter Ansatz mit einem alternativen Substratmaterial verfolgt. Gemäß dieser Strategie wird nun ein zweites Substratmaterial (TPU)

eingesetzt, welches ebenfalls dehnbar ist und in der Vergangenheit eine hervorragende Haftung bei den eingesetzten Silbertinten gezeigt hat (siehe Abb. 4).



Abbildung 4: Gedruckte Schaltungen; links: TPE/TPV-Substrat, rechts: TPU-Substrat

Die Prozessschritte der Verarbeitung sind analog zu den bisherigen Schritten. Es können ebenso die standardisierten Steckverbinder eingesetzt werden, um die Strukturen im Hinblick auf ihre elektrischen Eigenschaften zu charakterisieren (siehe Abb. 5).



Abbildung 5: Gedruckte Schaltung auf TPU-Substrat mit standardisiertem Steckverbinder

Im Rahmen des Projektes arbeiten zwei Gesellschaften der Continental AG zusammen. Ein wichtiger Bestandteil der Strategie ist die interne Abstimmung zu einem möglichen Fertigungskonzept (siehe Abb. 6). Hier konnte durch einen direkten Austausch mit den zuständigen Stellen ein Konzept aufgestellt werden, welches eine Fertigung intelligenter Schlauchleitungen erlaubt. Dieses Konzept wird im Rahmen des Projektes erprobt. Das Konzept sieht vor, dass elektronische Schaltungsträger in dem Technikum in Freiburg zentral gedruckt, bestückt und getestet werden. Anschließend erfolgt eine Einbringung in die Schläuche in der Fertigung im Technikum Hamburg. Die Qualitätsprüfung der Schläuche verbleibt bei dem bisherigen Werk, so dass hier keine neuen Strukturen aufgebaut werden müssen.

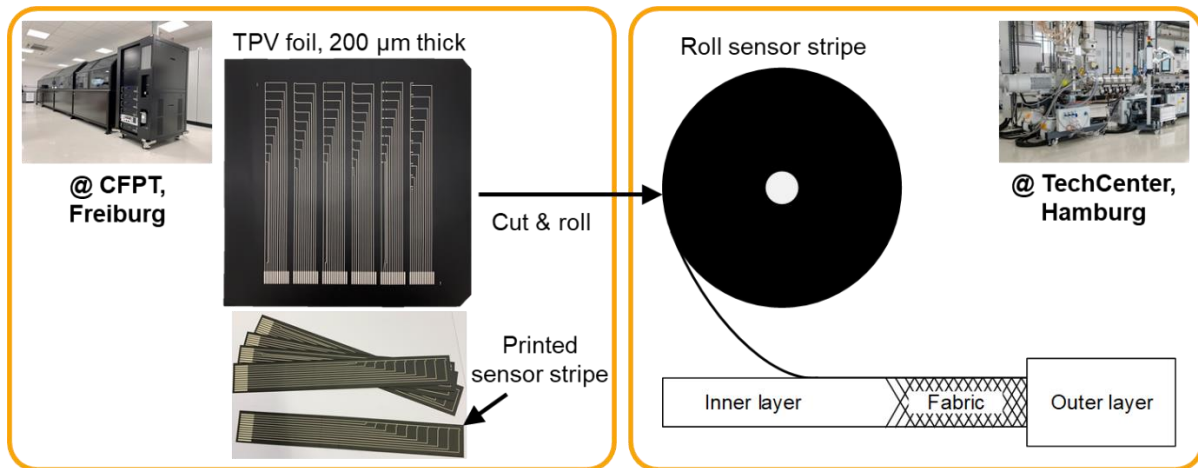


Abbildung 6: Projektbezogenes Fertigungskonzept

Im Rahmen der Entwicklungsarbeiten wurde die Möglichkeit untersucht, hybride Systeme zu realisieren. Diese bestehen aus einer Kombination von gedruckter Elektronik und konventionellen elektronischen Bauteilen. Die technische Herausforderung besteht in der unterschiedlichen Dehnbarkeit der Elemente. Während die gedruckte Elektronik eine große Dehnbarkeit von ca. 10-20 % aufweist sind die konventionellen Strukturen in der SMD-Bauart (surface mounted devices) praktisch gar nicht dehnbar. Es muss also eine Möglichkeit gefunden werden, beide Systeme mechanisch kompatibel zueinander zu gestalten.

Ansatzpunkt der Entwicklungen war die Variation der Bauteilorientierungen, Verkapselung der SMD-Bauteile mittels Vergussmasse (Glob Top) und die geeignete elektrische Anbindung der Systeme für In-Situ Messungen des ohmschen Widerstandes unter Dehnung (siehe Abb. 7).

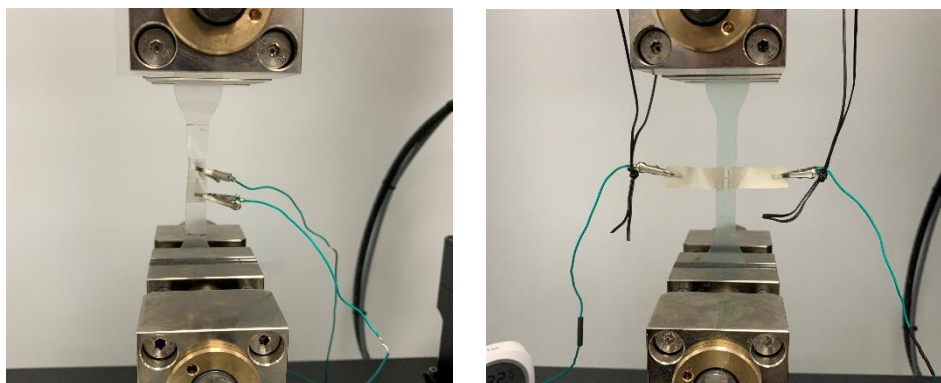


Abbildung 7: SMD-Komponenten auf gedruckter Elektronik (links: vertikale Anordnung, rechts: horizontale Anordnung)

Ergebnis der Untersuchungen ist eine Integrationsstrategie, welche auf die Anforderungen der integrierten hybriden Elektronik angepasst ist. Wesentliche Ergebnisse:

- Die Ausrichtung der Längskante der SMD-Komponenten sollte möglichst quer zur Dehnungsrichtung positioniert sein (70 % Dehnung toleriert statt 20 %)
- Die In Situ Kontaktierung erfordert eine elastische Anbindung der Elektronik, um eine zyklische Ablösung und damit Steigerung des elektrischen Widerstandes zu verhindern (siehe Abb. 7)

- Ein Verguss mit Glob Top erlaubt eine wesentlich größere Dehnung (siehe Abb. 8)

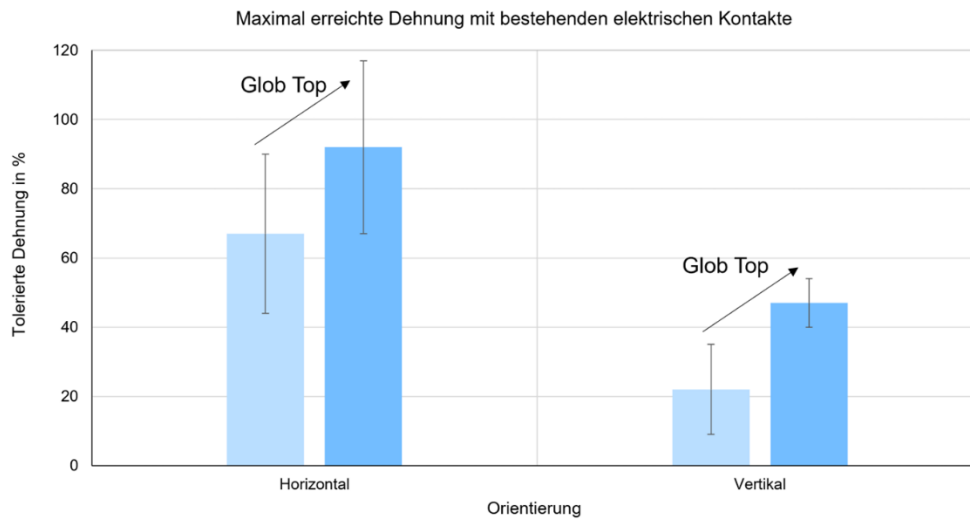


Abbildung 8: Tolerierte Dehnung der Substrate in Abhängigkeit der Bauteilorientierung und Vergussmasse (Glob Top)

Für die Integration der gedruckten Elektronik in der Schlauchwand ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Adhäsion der einzelnen Lagen ausreichend groß ist. Gegenwärtig werden bestehende Produkte im Sinne eines Retrofit nachträglich mit Sensorik ausgestattet. Die Konstruktion des Schlauches ist also ursprünglich nicht auf diesen Zweck ausgelegt worden. Aus diesem Grund stellt eine eingebrachte flächige Komponente in der Schlauchwand eine Trennstelle dar, welche mechanisch eine Schwachstelle bedeutet. Um die Adhäsion der Schichten zu gewährleisten, werden Materialien miteinander kombiniert, welche über eine stoffliche Verbindung miteinander verklebt werden können.

Für diese Zwecke wurden Laminationen von repräsentativen Grundmaterialien durchgeführt. Als Träger der Elektronik dient eine TPU-Folie, als Grundmaterial der Schlauchwand wird eine TPE-Folie genutzt. Zunächst wurde eine Vorlamination mit einem Rollenlaminator bei 120°C durchgeführt. Die Proben waren dabei jeweils auf der Ober- und Unterseite abgedeckt mit PET-Folie (300 µm unten, 25 µm oben). Anschließend wurde die Lamination mit Heizplatten auf einer Zwick-Prüfmaschine durchgeführt (siehe Abb. 10). Die Fläche der Probe beträgt 26.100 mm². Dabei wurden Temperatur und Anpressdruck variiert (siehe Abb. 9).

Pressdauer:

- Druckaufbau ca. 120 s
- Druck halten für 60 s

Temperatur in °C Kraft in N	120	140	160	180
4.750 (entspricht 0,18 N/mm ²)	Probe Nr. 1	3	5	7
9.500 (entspricht 0,36 N/mm ²)	2	4	6	8

Abbildung 9: Parameter der Laminationsversuche

Die Anpresskraft in der Lamination wird variiert zwischen 4.750 N und 9.500 N. Erwartet wird eine Erhöhung der Haftwirkung bei einer größeren Anpresskraft. Die Temperatur wird in 20°C-Schritten variiert zwischen 120-180°C. Hier wird eine Erhöhung der Haftwirkung bei einer größeren Temperatur erwartet.

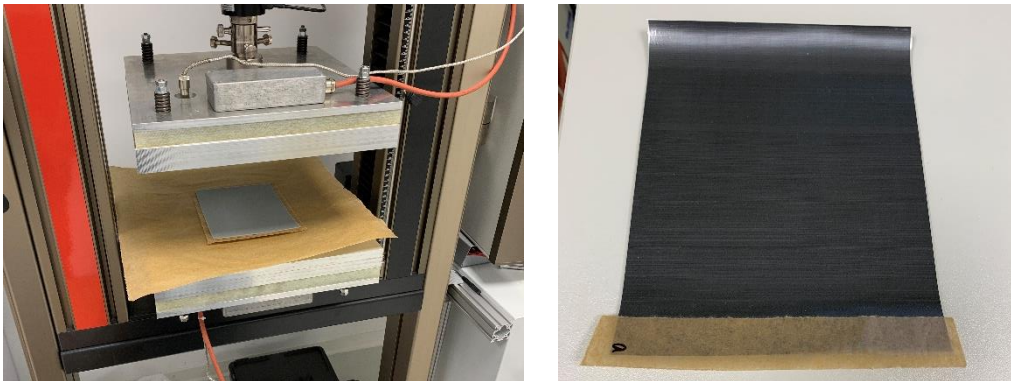


Abbildung 10: Aufbau und Ergebnisse der Laminationsversuche

Die Ergebnisse der Prüfung zur Weiterreißfestigkeit und Trennfestigkeit nach DIN ISO 6133 sind in Abbildung 11 dargestellt.

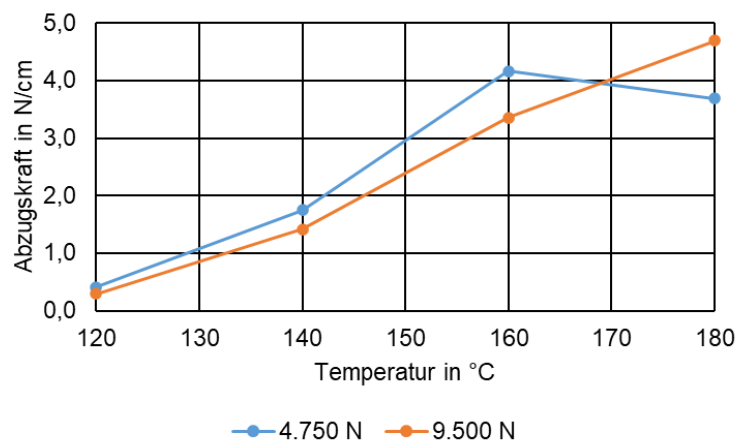


Abbildung 11: Abzugskraft in Abhängigkeit der Laminationskraft und -temperatur

Es zeigt sich eine erwartungsgemäße Zunahme der Haftfestigkeit bei einer Erhöhung der Laminations-temperatur. Die Anpresskraft scheint hingegen keinen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis zu haben. Gemäß diesen Ergebnissen kann ein thermisches Verschweißen der Lagen erfolgen. Eine Anpresskraft wäre nach den aktuellen Ergebnissen nur zur Fixierung der Lagen erforderlich. Dieses Ergebnis fließt in die weitere Ausgestaltung des Fertigungsprozesses ein.

In diesem Arbeitspaket konnten vom ZE alle geplanten Ziele erreicht werden.

Arbeitspaket 5

Gemäß dem oben gezeigten Vorgehen konnten Muster in Kooperation mit der Conti-MGW gefertigt werden. Hierzu wurden die gedruckten Patches auf die Innenlage der TPE-Schlauchleitungen aufgelegt. Der anschließende Strickprozess schließt die Elektronik ein und die Außenlage wird aufextrudiert. Die Schlauchleitungen werden anschließend kalibriert und gekühlt bevor sie mittels Röntgenprüfung und Lasermarkierung die Qualitätsprüfung absolvieren. Die einzelnen Abschnitte werden dann entnommen und weiteren Prüfungen unterzogen (siehe Abb. 12). Für Details wird auf den Bericht des Projektpartners MGW verwiesen.

Eine Herausforderung besteht darin die integrierten Schaltungen elektrisch zu kontaktieren, nachdem sie in die Schlauchwand eingebracht wurden. Hier sind in Zukunft weitere Entwicklungen nötig, um eine dauerhafte Verbindung zu erreichen.

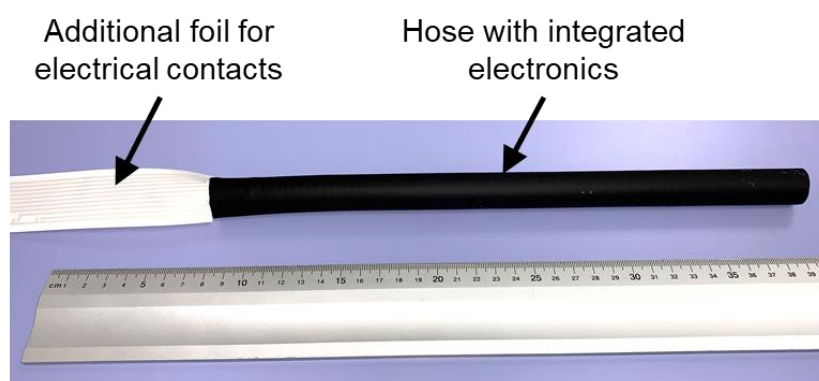


Abbildung 12: Schlauch mit integrierter Elektronikschaltung

Die Schlauchleitungen mit der integrierten Elektronik wurden im Rahmen der Entwicklung einer Röntgen-Tomographie unterzogen. Bei dieser Prüfung konnte die unterschiedliche Absorption der Röntgenstrahlung in TPE und Silber genutzt werden. Die Untersuchung erfolgt in einzelnen schnittförmigen Aufnahmen (siehe Abb. 13). Die Daten werden im Rahmen der Analyse automatisiert verarbeitet und ausgewertet.

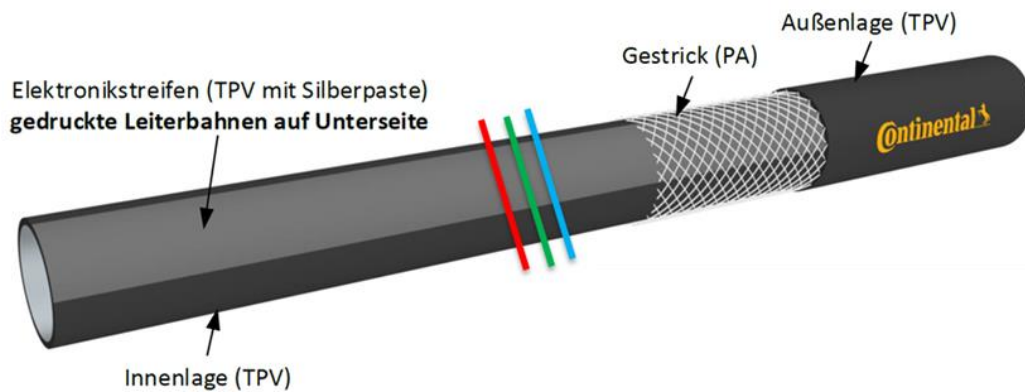


Abbildung 13: Untersuchung der Schläuche mittels Röntgen-Tomographie

Bei den Ergebnissen zeigt sich, dass die Haftung der Silberstrukturen auf den TPE-Substraten nicht hinreichend gut ist. Es ergeben sich Ablösungen der Silberstrukturen. Die Methode der Röntgenuntersuchung konnte erfolgreich eingesetzt werden und wird auch zukünftig zu Analyse der neuen Proben zum Einsatz kommen.

In diesem Arbeitspaket konnten vom ZE alle geplanten Ziele erreicht werden.

Arbeitspaket 6

Die Schläuche werden in der angestrebten Anwendung einer zyklischen Druckpulsation ausgesetzt. Um diese Belastung zu simulieren, werden beim Partner Conti-MGW Druckpulsationen im Prüflabor durchgeführt (siehe Abb. 14). Hierbei wurde die gedruckte Elektronik aus diesem Teilprojekt genutzt und anschließend bewertet.



Abbildung 14: Probekörper in Druckpulstest

Die Integration der gedruckten Strukturen ist erfolgreich verlaufen. Es traten keine Probleme hinsichtlich der geometrischen Passung auf. Auch die elektrische Kontaktierung und Verarbeitung der gedruckten Elektronik stellte kein Problem dar. Während der Montage und der Prüfung der Schläuche kam es allerdings zu Beschädigungen der elektrischen Leiterbahnen. Für die Details dieser Schädigungen wird auf den Bericht des Partners Conti-MGW verwiesen, da dieser die Untersuchungen durchführte.

Für eine Optimierung wurde bereits ein neues Layout gefertigt und in Schläuche integriert. Die anschließenden hydraulischen und röntgentomographischen Prüfungen wurden im Rahmen einer

kostenneutralen Verlängerung des Projektes um drei Monate durchgeführt. Für die Details dieser zusätzlichen Prüfungen wird auf die Berichte der Partner Conti-MGW und INM verwiesen, da diese die Untersuchungen durchführten bzw. neuartige Materialien bereitstellten.

In diesem Arbeitspaket konnten vom ZE alle geplanten Ziele erreicht werden.

2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der größte Anteil an der Fördersumme ist verursacht durch Personalkosten. Dies wird im Wesentlichen getrieben durch die personalintensive wissenschaftlich-technische Arbeit. Ein weiterer wichtiger Posten der Fördersumme ist verursacht durch Kosten innerbetrieblicher Leistungen. Hierunter fallen die Kosten für die praktischen Untersuchungen. Die Reisekosten sind geringer ausgefallen infolge der Corona-Pandemie. Auch Materialien wurden weniger beschafft als ursprünglich geplant.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Projekt wurde von der Benecke-Kaliko AG initiiert. In dem neugegründeten Center for Functional Printing Technologies (CFPT) wurde die gesamte Prozesstechnik im Bereich funktionaler Druck gebündelt und die Entwicklung unter idealen Bedingungen durchgeführt. Gegen Ende des Projektes erfolgte eine firmeninterne Restrukturierung. In diesem Zuge wurde das Center for Functional Printing Technologies der Benecke-Kaliko AG in die ContiTech Deutschland GmbH transferiert. Innerhalb der neugegründeten Abteilung Embedded Systems werden die Arbeiten zukünftig inhaltlich fortgeführt.

Die Arbeit im Projekt ist gemäß Projektplan gut verlaufen und es konnten signifikante Erkenntnisse erarbeitet werden. Die finanziellen Aufwendungen waren notwendig und angemessen.

4. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Die entwickelten Technologien werden im Nachgang zum Projekt in internen Entwicklungsprojekten genutzt. Aufgrund der Vertraulichkeit der wirtschaftlichen Aspekte wird für Details auf den Erfolgskontrollbericht verwiesen.

Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten

Im Rahmen des Teilvorhabens wurde untersucht, wie die Integration von gedruckten Sensorsystemen in Schlauchleitungen erfolgen kann. Die übergeordnete Perspektive des Unternehmens bezieht sich darüber hinaus auf elastomere Bauteile aller Art, wie zum Beispiel auch Zahnriemen, Fördergurte und Luftfedern. Die Integration elektronischer Komponenten in elastomere Bauteile ermöglicht eine Digitalisierung dieser Strukturen. Infolge der Digitalisierung werden zusätzliche Funktionen, Dienstleistungen und Produkte möglich. Herausforderungen bestehen weiterhin bei der mechanischen Beständigkeit der gedruckten Systeme, der Haftfestigkeit der Sensoren im Verbund sowie bei der elektrischen Kontaktierung des integrierten Sensorsystems. Hier wird für die Details auf den Erfolgskontrollbericht verwiesen.

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Für die Ergebnisse im Projekt war es essenziell, die Fragestellungen im Verbund mit interdisziplinären Partnern aus Wissenschaft und Unternehmen zu bearbeiten. Für die wissenschaftlichen Aspekte wird weiterhin ein enger und vertrauensvoller Austausch gepflegt, um zukünftig Weiterentwicklungen

betreiben zu können. Hauptaugenmerk liegt hier auf der mechanischen Beständigkeit des gedruckten Systems.

Aufgrund der Vertraulichkeit der wirtschaftlichen Aspekte wird für Details auf den Erfolgskontrollbericht verwiesen.

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

Während der Laufzeit des Vorhabens sind dem ZE keine Fortschritte bei anderen Stellen bekannt geworden, welche die eigenen geplanten Ziele ersetzen oder obsolet machen.

6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 11

EPoSS Annual Forum 2021, Vortrag Tim Wolfer: Moving forward together for trustworthy electronics, 05.10.2021

A. Scholz et al., "Security Enhanced Hybrid Electronic System in Foil for Temperature Sensing," 2023 IEEE International Flexible Electronics Technology Conference (IFETC), San Jose, USA, CA, USA, 2023, pp. 1-3, doi: 10.1109/IFETC57334.2023.10254812.

BMBF Fachkonferenz Vertrauenswürdige Elektronik 2022, Vortrag Tim Wolfer: Projekt VE-sensIC, 09.03.2022

BMBF Fachkonferenz Vertrauenswürdige Elektronik 2022, Poster Tim Wolfer: Eindeutige Identifizierbarkeit für vertrauenswürdige Hybrid-Sensorelektronik mit Hilfe additiver Fertigung, 09.03.2022

InnovationForum Smarte Technologien & Systeme 2022, Vortrag Tim Wolfer: Mit gedruckter Elektronik zum fühlenden Bauteil – Einblicke in das Projekt sensIC, 31.03.2022

microTEC Südwest Fachgruppe Drucktechnologien 2022, Vortrag Tim Wolfer: Integration gedruckter Elektronik in Elastomerbauteile, 30.11.2022

Tage der vertrauenswürdigen Elektronik München 2024, Poster Tim Wolfer et. al.: Printed electronics for smart hoses, 04.06.2024

Geplant: Publikation zu Gesamtsystem, Koordination durch KIT