Kurzbericht

zu

WIR! – Knittronic - Verbundvorhaben-Entwicklung von dehnbaren, elektronischen Schaltungen, welche kundenspezifisch digital erstellt und anschließend gewirkt und gestrickt werden; TP3

Förderkennzeichen 03WIR1407C

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhalt

1 Aufgabenstellung und wiss.-techn. Grundlagen 1
2 Ablauf des Vorhabens 1
3 Wesentliche Ergebnisse und FuE-Kooperationen 2

1 Aufgabenstellung und wiss.-techn. Grundlagen

Aufgabenstellung ist die Erarbeitung der verfahrenstechnischen Voraussetzungen und Bedingungen zur Herstellung voluminöser, druck- und dehnungselastischer Gewirke, deren maschenwarentypischen Eigenschaften weitestgehend unverändert bleiben sollen, während darin integrierte elektrische Zuleitungen ihre Aufgabe für die smarten Funktionen des Textils auch unter mechanischen Wechselbeanspruchungen (Spannungs-Verformung) zuverlässig erfüllen. Die Pressless GmbH ist seit 2005 auf dem Gebiet der der 3D-/Abstandsgewirke wirtschaftlich tätig und verfügt zu deren Herstellung über einen modernen Maschinenpark. Für die Ausführung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten stehen drei verschiedene Typen der Wirkmaschinenkategorie „Doppelraschel“ zur Verfügung, die ausgestattet mit modernster Antriebs- und Steuerungstechnik und unterschiedlichen Wirkwerkzeugfeinheiten eine flexible und vielfältige Umsetzung entsprechender Erzeugnisstrukturen erlauben. Die grundlegenden mechanischen Eigenschaften der Textilien liegen aus kontinuierlichen, produktionsbegleitenden Prüfungen zur Warenqualität in umfangreichen Maß vor. Gegenstand der technischen Untersuchungen ist die Erforschung und Entwicklung produktionstauglicher Voraussetzungen und Bedingungen zur Implementierung von Konduktoren. Ein weitreichendes Spektrum elektrischer Leitermaterialien ist auf seine wirktechnische Verarbeitungsfähigkeit zu bewerten, zu untersuchen und zu testen, um daraus das technologisch geeignete Repertoire abzuleiten. Der Einfluss bindungstechnisch variiert eingearbeiteter elektrischer Leiter auf die elastischen Eigenschaften umgesetzter Gewirkestrukturen ist zu erfassen und in Gegenüberstellungen auszuwerten. Zur Erforschung der Wirkung verschiedener textiler Ausrüstungen auf diese Eigenschaften werden dem Verbundpartner aus dem Bereich Textilveredlung und zur Feststellung der elektrischen Eigenschaften unter mechanischer Beanspruchung dem wissenschaftlichen Verbundpartner Mustermengen in geeignetem Umfang zur Verfügung gestellt.

2 Ablauf des Vorhabens

Auf Basis des allgemeinen Leistungsprofil von Abstands-/3D-Gewirken wurden aus der Produktpalette der Pressless GmbH Erzeugnisstrukturen ausgewählt, die das Leistungsspektrum weitreichend belegen und für die angestrebten Untersuchungsgegenstände und -umfänge als geeignet bewertet wurden. Die ausgewählten Textilen bestehen grundsätzlich uneingeschränkt aus Polyester-Garnen, die sich jedoch selbst in Materialtyp und textiler Feinheit wesentlich voneinander unterscheiden. Mit der Vorgabe eines

zu erzielenden, bestimmten elektrischen Widerstandes im Textil erfolgten die Festlungen der zu implementierenden Leitermaterialien. Es wurden blanke Kupfer-Einzeldrähte, verzinnte Kupferlitzen und mit Carbon beschichtete Polyester-Multifilamentgarne mit zum Teil dimensionalen Unterschieden zu den bindungstechnisch korrelierenden Basismaterialien eingesetzt. In Kombination aus diesen Festlegungen und der maschinentechnischen Basis wurde eine verfahrenstechnische Grundkonzeption als Leitfaden für die strategische Auslegung und Umsetzung des Versuchsprogrammes erarbeitet. Hieraus leiteten sich in Variation allgemeiner Anordnungsprinzipe insbesondere die technisch-technologischen Maßnahmen ab, welche vorgelagert zum technologischen Kern „Wirkerei“ des Teilprojektes innerhalb der textilen Wertschöpfungskette zu erfüllen sind. Entsprechende Versuchsanordnungen wurden geschaffen, um die Einarbeitung einzelner oder gruppierter Leiteranordnungen vorzunehmen. Parallel dazu wurden digitale Simulationen der textilen Strukturen erstellt, aus denen sich die textiltechnologischen Parameter zur Einarbeitung der elektrischen Leiter ableiten. Insgesamt wurden zwölf verschiedene Mustervarianten mit Verarbeitung von fünf verschiedenen Leitermaterialien auf drei unterschiedlichen Wirkmaschinentypen gefertigt. Vergleichende Analysen der Verarbeitungsmengen funktionaler Komponenten zu den textilen Basismaterialien wurden erbracht. Die mit elektrischen Leitern versehenen Materialien wurden auf ihre mechanischen Eigenschaften geprüft und mit denen der Gewirke ohne die jeweilige Funktionalisierung verglichen. Im Verlauf des Vorhabens sind dem Fördermittelempfänger auf dem Gebiet der Verarbeitung niedrig-ohmiger elektrischer Leiter unter Anwendung der 3D-Wirktechnologie keine ähnlichen oder vergleichbaren Entwicklungsfortschritte bekannt geworden. Das Vorhaben wurde termin- und kostengerecht absolviert.

3 Wesentliche Ergebnisse und FuE-Kooperationen

In Beziehung zu den technischen Voraussetzungen und unter Berücksichtigung der Vielfalt an typischen, zur Herstellung von Abstands-/3D-Gewirken allgemein verfügbarer Wirkmaschinen konnte die Leitlinie zur Systematisierung und wirkereitechnisch übertragbaren Konzeption von Materialauswahl, makrostruktureller Auslegung und anwendungsorientierter Gestaltung smarter 3D-Gewirke zielgerichtet zur Anwendung gebracht werden. Unter Berücksichtigung angestrebter elektrischer Kenngrößen wurden verschiedene Grundtypen elektrischen Leitermaterials auch mit Variation ihrer Dimensionen erfolgreich getestet. Beschränkte, nur bedingt vorhandene dimensionale Korrelation zwischen textilen Basismaterialien und elektrischen Leitern wurde als maßgeblicher Einflussfaktor auf die praktische Realisierbarkeit unmittelbar ersichtlich. Mittels digitaler Modellierungen erstellte Entwürfe textiler Konstruktionen konnten in Abhängigkeit der gewählten Verfahrensweise und besonderen Anpassung der Verfahrenstechnik zur Bereitstellung und Zuführung der elektrischen Leiter in die textile Fertigungsstufe Wirkerei verwirklicht werden. Die verschiedenen, damit verfolgten technischen Lösungsansätze konnten in diversen Versuchsreihen auf ihre Leistungsfähigkeit getestet und mit guter bis sehr guter Annäherung an die erwarteten Produktionsleistungen der jeweiligen Verfahrenstechnik zur Umsetzung gebracht werden. Besondere Maßnahmen zur Aufnahme/Beseitigung von mittelbaren Umgebungsbelastungen infolge der Verarbeitung zur Anwendung gebrachter spezieller Leitermaterialien wurden nicht festgestellt. Die Untersuchungen zu den mechanischen Eigenschaften von Abstands-/3D-Gewirken mit integrierten elektrischen Leitern haben zum Ergebnis, dass allein im Vergleich zu den textilen Basismaterialien die deutlich davon abweichenden Werkstoff- und Materialeigenschaften - insbesondere bei Verwendung metallischer Leiter - das Leistungsprofil der textilen Struktur durchaus beeinträchtigen. Verstärkt wird dieser Effekt zusätzlich durch spezielle, beispielsweise schmutzabweisende oder flammenhemmende Ausrüstungen. Die Zusammenstellung des Projektkonsortiums in typischer Aufeinanderfolge der textilen Wertschöpfungskette hat sich als tragfähig und zielführend bestätigt. Wissens-, Informations- und Sachaustausch führten zu einer weitreichenden Zusammenführung der umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsergebnisse und im Konsortium zur erfolgreichen experimentellen Entwicklung und Verwirklichung strukturmechanisch integraler, funktional smarter Prinzip-Demonstratoren. Im Ergebnis stehen den Zuwendungsempfängern das Wissen und die Erfahrungen zur Anwendung von Auslege- und Umsetzungsstrategien für strukturell und funktional anwendungsorientierte Konfigurationen und technisch-technologisch tragfähige Implementierungen elektrischer Leiter in maschengebundenen textilen Produkten zur Verfügung.

Eingehende Darstellung

zu

WIR! – Knittronic - Verbundvorhaben-Entwicklung von dehnbaren, elektronischen Schaltungen, welche kundenspezifisch digital erstellt und anschließend gewirkt und gestrickt werden; TP3

Förderkennzeichen 03WIR1407C

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhalt

1 Ausgangssituation 2
2 Zielstellung und Anwendungsspezifika 2
3 technologische Grundlagen 2
3.1 Materialspezifik allgemein bekannter Abstands-/3D-Gewirke 2
3.2 Materialspektrum elektrischer Leiter 4
3.3 Verfahrenstechnik 5
3.3.1 technische Voraussetzungen 5
3.3.2 Verfahrenstechnische Grundkonzeption 5
4 Versuchsprogramm, Produktsimulationen und Musterfertigung 6
4.1 Auswahl elektrischer Leiter 6
4.2 Festlegungen zu den textilen Basisgarnen 7
4.3 Material-Verfahrens-Zuordnungen 7
4.4 Wirkereitechnische Vorbereitungen und Technische Modifikationen 9
4.4.1 Einzeldraht-Verarbeitung, direkt von Spule 9
4.4.2 Gruppenintegrierte Einzeldraht-Verarbeitung 10
4.4.3 Gruppenunabhängige Mehrfachverarbeitung 11
4.4.4 Gruppenunabhängige Mehrfachverarbeitung mit separater Zuführung von Kurzkette (TKB 7x14“) 12
4.5 Materialspezifische Einflüsse auf Komponenten der Verarbeitungstechnik 13
4.6 Ergebnisse aus Herstellung und Untersuchung der entworfenen Mustervarianten 14
4.6.1 Cu-Einzeldraht-Muster auf RD 7/2-12 EN-Maschinentypen 14
4.6.2 Cu-Einzeldraht-Muster auf RD 6-Maschinentypen 15
4.6.3 Cu-Einzeldraht-Muster auf HDR 6 EL/HD-Maschinentyp 16
4.6.4 Gruppenunabhängige Mehrfachverarbeitung von Cu-Litzen auf RD 7/2-12 EN-Maschinentypen 17
4.6.5 Gruppenunabhängige Mehrfachverarbeitung von HiTex auf RD 7/2-12 EN-Maschinentypen 18
5 Ergänzende Darstellungen 19
5.1 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 19
5.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten 19
5.3 Nutzen und Verwertbarkeit des Vorhabens 20
5.4 Fortschritt auf dem Gebiet seitens Dritter 20
5.5 Veröffentlichungen zu Ergebnissen des Vorhabens 21

1 Ausgangssituation

Der in den zurückliegenden Jahren wachsende Bedarf an Wearables zeichnet sich auch in Prognosen für die kommenden Jahre fort. Ein Trend, der sich bisher für Smart Textiles als Untergruppe der Wearables gleichermaßen abzeichnete. Hauptsächlich werden Umsätze im Zuliefererbereich von Smart Textiles generiert, hierbei stellen leitfähige Garne, elektronische Sensoren und Aktoren im Mittelpunkt die Umsatzschwerpunkte dar. Allein in Europa wird ein Marktvolumen von über 4 Mrd. Euro in 2030 erwartet.

Sensorische und aktorische Funktionen haben wesentlichen Einfluss durch ein breites Anwendungspotential. In Bereichen wie Automotive, Biometrics, Digital Signage, Healthcare, Mobile- und Smart Devices sind Wearables sichtlich immer mehr im Einsatz. Wearables werden am Körper getragen. Aus diesem Grund müssen sie flexibel und die Trageeigenschaften entsprechend gut sein. Prognosen zufolge sollen im Zeitraum bis 2025/2030 Anwender in der Lage sein, etwa 10% ihrer Kleidung mit dem Internet zu verbinden. Für die Funktion der Wearables ist eine zuverlässige Stromzuführung wichtig, deren elektrischer Widerstand auch bei Beanspruchung bestenfalls unverändert bleibt.

Aktuelle Ansätze verwenden Materialien wie z. B. Kautschuk, Silikon oder Substrate wie bspw. thermoplastisches Polyurethan oder legen technologisch leitfähige Materialien in Mäanderstrukturen ein. Diese Lösungsansätze funktionieren für Sensoren gut, da hier die Widerstandsänderung bei Beanspruchung funktional genutzt werden kann. Für eine gute elektrische Stromzufuhr ist dies jedoch deutlich weniger zweckmäßig und zudem für den körpernahen Einsatz eher ungeeignet. Zwar sind die auf diesen Ansätzen basierenden Wearables teilweise waschbar, aber sie besitzen keine Luftdurchlässigkeit und schränken die Bewegung des Trägers ein. Textilbasierte Lösungen grenzen sich hier klar ab und stellen allgemein eine plausible Alternative dar. Demgegenüber sind Maschenwaren im Allgemeinen gut dehnbar, besonders luftdurchlässig und zudem kostengünstig.

2 Zielstellung und Anwendungsspezifika

Zielstellung ist die Erarbeitung der verfahrenstechnischen Voraussetzungen und Bedingungen zur Herstellung voluminöser, druck- und dehnungselastischer Gewirke, deren maschenwarentypischen Eigenschaften weitestgehend unverändert bleiben, während darin integrierte elektrische Zuleitungen ihre Aufgabe für die smarten Funktionen des Textils auch unter mechanischen Wechselbeanspruchungen (Spannungs-Verformung) zuverlässig erfüllen

Die elektrischen Zuleitungen sollen für die verschiedensten Einsatzmöglichkeiten in smarten elektronischen Textilien z.B. als Datenbus für das Auslesen textiler Sensoren, die Ansteuerung von smarter Beleuchtung in Sicherheitsbekleidung oder auch für medizinische Applikationen geeignet sein. Hinsichtlich der potentiellen Einsatzmöglichkeiten der geplanten Entwicklung sind Eigenschaften sollten Anforderungen seitens der Textil- als auch der Elektronikindustrie berücksichtigt werden.

Schwerpunkt der technischen und technologischen Forschungsarbeiten im Rahmen des Teilvorhabens sind Untersuchungen zur technologiespezifischen Integration elektrischer Leiterzüge in elastisch dehnbare Textilien auf Basis von 3D-Gewirken/Abstandsgewirken sowie die Charakterisierung der textilen Strukturen hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften einschließlich des Einflusses elastischer Wechselbeanspruchungen auf den elektrischen Widerstand der im Textil integrierten elektrischen Leiter.

3 technologische Grundlagen

3.1 Materialspezifik allgemein bekannter Abstands-/3D-Gewirke

Leistungsansprüche in Ableitung aus den favorisierten Anforderungsprofilen smarter Textilien lassen sich durch das allgemeine Leistungsprofil von Abstands-/3D-Gewirken prinzipiell erfüllen. Explizit die Spannungs-Dehnungseigenschaften von Abstandsgewirken in Dicken bis etwa 10 mm gelten auf Grund des vielfältig variierbaren X-Y-Z-Elastizitätsverhaltens als Untersuchungsobjekte im Spektrum von 0 bis 45 % elastischer Dehnraten als geeignet. Zur näheren Analyse ihrer mechanischen Eigenschaften

wurden verschiedenste Abstandsgewirke aus dem Produktspektrum der Pressless GmbH herangezogen. (Tabelle 1, Abbildung 1)

Tabelle 1: Elastische Dehnraten ausgewählter Serien-Artikel (thermofixierte Produkte)

Oberflächen-struktur	Warenvorderseite		3-1 Trikot-Filet	3-1 Trikot-Filet	3-1 Trikot-Filet verstärkt	4-4 Filet	4-4 Filet	2-2 Filet (diag. vesetzt)	4-4F-3-1S-Raute	3-1 Trikot-Filet	3-1 Trikot-Filet	3-1 Trikot-Filet	3-1 Trikot-Filet	3-1 Trikot-Filet
	Warenrückseite		Trikot	Trikot	Samt	Charmeuse	Charmeuse	Trikot	Trikot	Trikot	Trikot	Tuch	Trikot	Trikot
mittlere Dicke			2 mm			3 mm							6 mm	
Mittelwert	Mustertyp		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L (R)
7,8%	Fix-Dehnrate (F=30N)	$\delta_{L\,fix}$	7,5%	10,5%	2,5%	12,5%	8,5%	4,0%	8,0%	7,0%	4,9%	8,2%	11,0%	9,5%
13,3%		$\delta_{B\,fix}$	21,0%	18,0%	4,5%	7,5%	3,5%	14,0%	19,0%	15,0%	24,6%	4,3%	14,0%	14,5%

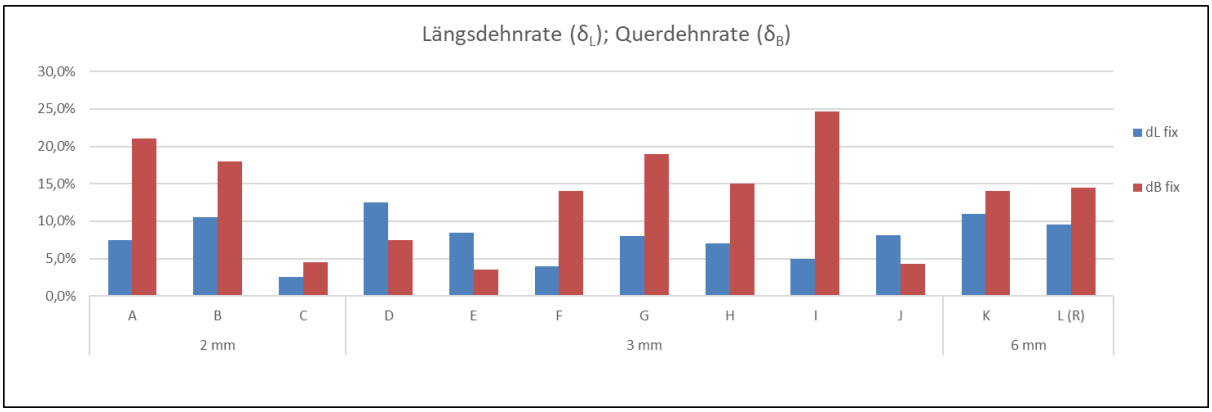


Abbildung 1: Elastische Dehnraten ausgewählter Serien-Artikel (thermofixierte Produkte)

Es handelt sich hierbei um Erzeugnisse mit kundenspezifischen Eigenschaftsprofilen, die sich bedingtermaßen maßgeblich voneinander unterscheiden. Zu deren Herstellung kommen vorzugsweise Maschinentypen mit Feinheiten E 18 bis E 28 zum Einsatz.

Garnfeinheiten als auch Einzugs- und Bindungsfolge variieren in einem breiten Spektrum, wenngleich alle für die Gegenüberstellung ausgewählten Artikel auf Polyester-Garnen basieren. Quervergleiche über das Artikelspektrum hinweg sind somit nicht anwendbar. Jedwede 3D-Gewirkekonstruktion ist in Unterschiedlichkeit der Einbindung elektrischer Leiter folglich direkt nur mit seinen ursprünglichen Eigenschaften vergleichbar.

Für 3D-Gewirke in deutlich größeren Dicken von 20 mm bis zu durchaus 55 mm ist eine quantitativ vergleichende Gegenüberstellung zu Abstandsgewirken mit kleiner bzw. geringerer Dicke innerhalb dieses Eigenschaftsprofils ist nicht zielführend. Die 3D-Gewirke der mittleren bis großen Dicken zeichnen sich durch erheblich geringere Quer- und Längsdehnungsraten aus. Selbst umfangreiche Probenpräparationen sind nur bedingt geeignet, um das elastische Dehnungsverhalten der voluminösen Flächengebilde zur ermitteln. Der Einfluss mechanischer Koppeleffekte der verbindenden Polfadensysteme dominiert gegenüber den Strukturmerkmalen der beiden Oberflächen. Zudem sind die nach normierten Methoden anzuwendenden Prüfmittel für die Tests an solchen Textilerzeugnissen wenig bis gar nicht geeignet. Normgerechte Prüfverfahren (DIN/EN/ISO) für diese neuartigen Materialkonstruktionen befinden sich noch in Bearbeitung der zuständigen Gremien und Ausschüsse.

In Bewertung der 3D-Gewirke stehen weniger die längs- und querelastischen Eigenschaften als vielmehr die druckelastischen Eigenschaften im Mittelpunkt der Produktbewertung. Insofern liegt hier eine Erzeugnisstruktur mit eigenständig zu beurteilender Charakteristik vor. Zur Herstellung dieser Materialgruppe kommen Maschinentypen mit gröberen Nadelteilungen/Feinheiten zwischen 10 E und 14 E (E=Nadeln/Zoll) zur Anwendung.

Ein weiterer markanter Unterschied ist die Bindungsdichte der dreidimensionalen, gewirkten Strukturen. Abstandsgewirke mit kleinen bis geringeren Dicken weisen Bindungsdichten von ca. 1.000 Bindungsstellen pro Quadratzoll auf, während 3D-Gewirke mit mittleren bis großen Dicken Bindungsdichten von lediglich ca. 200 Bindungsstellen pro Quadratzoll enthalten. Hieraus resultieren erhebliche Differenzen hinsichtlich der Installationsfähigkeit elektrisch leistungsgerechter Leitungssysteme selbst, einschließlich ggf. anwendungstechnisch erforderlicher Redundanzen.

Unabhängig von ihrer räumlich-geometrischen Ausprägung stehen allen diesen Gewirken das gleiche Spektrum an Bindungsvielfalt zur Strukturierung sowohl der Oberflächen als auch der verbindenden 3D-Abstandsfadensysteme zur Verfügung. Unterschiede in den Bindungsdichten, textiltechnisch wesentlich beeinflusst von der Teilung der Wirkwerkzeuge, werden durch gezielte Auswahl der Garnfeinheiten für die jeweiligen Fadensysteme kompensiert.

3.2 Materialspektrum elektrischer Leiter

Aus der Forderung nach einem Widerstand der eingewirkten Leiterbahnen konstant unter 5 Ω/m und einer maximalen Widerstandsänderung von 1 Ω/m während der Dehnung des Textils resultieren Mindestquerschnitte und unter der Voraussetzung kreisrunder Querschnitte entsprechende Mindestdurchmesser der elektrischen Leiter in Abhängigkeit des technisch relevanten Leiterwerkstoffes. Dabei unterscheiden sich die Leiterwerkstoffe durch ihren spezifischen Widerstand erheblich voneinander. Da eine strukturmechanische Einbindung in einen Maschenverbund erzeugt werden soll, kommen nur Feststoffe als elektrische Leitermaterialien in Betracht.

Mit einer technologisch angemessenen Limitierung verarbeitbarer Leiter-Dimensionen von 0,1 Millimeter Durchmesser reduziert sich der Umfang auf lediglich fünf technisch geeignete, metallische Leiterwerkstoffe (Tabelle 1:lfd. Nr. 01- 05). Mit Blick nicht nur auf die textile, sondern auch auf die elektrotechnische Behandlung und Weiterverarbeitung sind Kupferdrähte als vorerst geeignetste metallische Leitermaterialien ausgewählt worden.

Tabelle 2: Spezifische und resultierende elektrische Widerstände metallischer Leiterwerkstoffe

	technolog. relevanter max. Leitungs-∅		d = 0,10 mm	
		spezifischer Widerstand	Mindest-durchmesser für	Widerstand
lfd. Nr.	Material elektrischer Leiter	ρ in Ω x mm²/m	R_{max} = 5Ω	$R / l = \rho / A$
01	Silber	1,59E-02	0,065 mm	2,02 Ω/m
02	Kupfer (rein, „IACS“)	1,72E-02	0,070 mm	2,19 Ω/m
03	Kupfer (Elektro-Kabel)[11]	1,69E-02	0,070 mm	2,15 Ω/m
04	Gold	2,21E-02	0,080 mm	2,82 Ω/m
05	Aluminium	2,65E-02	0,090 mm	3,37 Ω/m
06	Magnesium	4,39E-02	0,11 mm	nicht geeignet
07	Wolfram	5,28E-02	0,12 mm	nicht geeignet
08	Messing	7,00E-02	0,14 mm	nicht geeignet
09	Nickel	6,93E-02	0,14 mm	nicht geeignet
10	Eisen	1,00E-01	ab 0,16 mm	nicht geeignet
		1,50E-01		nicht geeignet
11	Stahl	1,00E-01		nicht geeignet
		2,00E-01		nicht geeignet
12	Platin	1,05E-01	0,17 mm	nicht geeignet
13	Zinn	1,09E-01	0,18 mm	nicht geeignet
14	Blei	2,08E-01	0,24 mm	nicht geeignet
15	Konstantan	5,00E-01	0,36 mm	nicht geeignet
16	Edelstahl (1.4301, V2A)	7,20E-01	0,43 mm	nicht geeignet
17	Titan	8,00E-01	0,46 mm	nicht geeignet
18	Quecksilber	9,41E+02	ab 0,50 mm	nicht geeignet
19		9,61E-01		nicht geeignet

Kupferdraht steht in vielfältigen Ausführungsformen zur Verfügung, als Einfachdraht oder als Litze, ob blank, lackiert, metallisch beschichtet oder mit Isolation ummantelt. Entsprechend den technischen und technologischen Bedingungen wurde eine Auswahl getroffen und in diversen Versuchsreihen zur Anwendung gebracht.

3.3 Verfahrenstechnik

3.3.1 technische Voraussetzungen

Für die avisierten Versuchsserien stehen drei verschiedene Typen der Wirkmaschinenkategorie „Doppelraschel“ zur Verfügung. Davon sind der Maschinentyp RD 7/2-12 EN und der Maschinentyp „High Distance“ HDR 6 EL/HD sowohl mit aktiven Lieferwerken für die Zuführung der Kettfadensysteme als auch mit elektronischer Steuerung für die frei programmierbaren Versatzbewegungen aller Grundlegebarren ausgestattet. Der Maschinentyp RD 6/3-12 verfügt über eine mechanische Mustersteuerung mittels Musterscheiben, ist jedoch auch mit aktiven Lieferwerken für alle Kettfadensysteme ausgestattet.

Ein wesentlicher Unterschied besteht in den Feinheiten der Wirkwerkzeuge: HDR 6 EL/HD ist mit grober Feinheit, RD 6/3-12 ist mit mittelgrober Feinheit E 18 und RD 7/2-12 EN mit mittlerer Feinheit ausgestattet. Dementsprechend wurde die Wahl der einzusetzenden Garnmaterialien getroffen.

3.3.2 Verfahrenstechnische Grundkonzeption

In Abhängigkeit der bindungsgemäß zu verarbeitenden Art und Menge sowie der möglichen Bereitstellung elektrischer Leiter hinsichtlich ihrer Zuführung zur Verarbeitungsstelle der jeweiligen Wirkmaschine leitet sich ein dreidimensionaler Arbeits- und Lösungsraum ab.

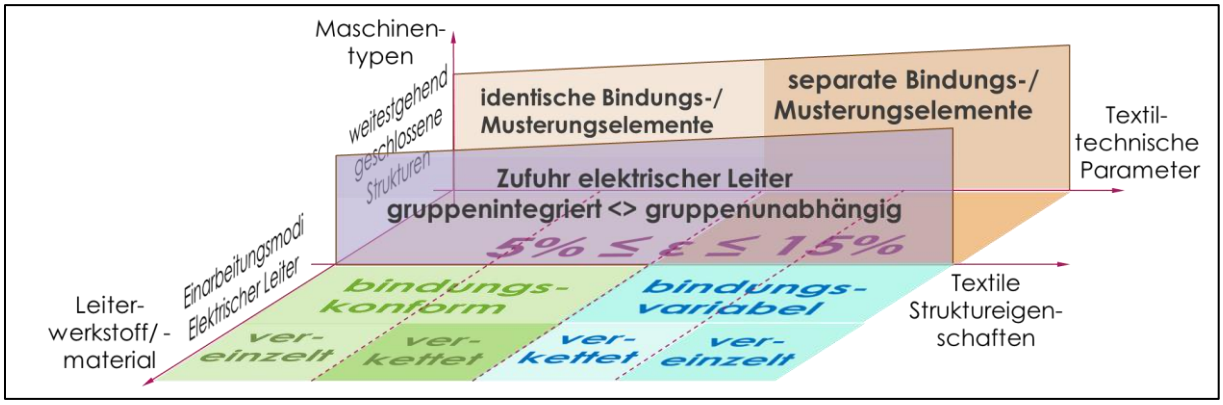


Abbildung 2: visualisierter Arbeitsraum partieller Ver-/Einarbeitung elektrischer Leiter im Kettenwirk-Verfahren mit spezifischen Merkmalen in den Handlungsebenen

Für die verarbeitungstechnische Leitlinie und die darstellbaren strukturellen Konzeptionen von Abstandsgewirken mit darin enthaltenen elektrischen Leitern wird der Fokus auf weitestgehend geschlossene Oberflächenkonstruktionen gerichtet. Aufgrund der Komplexität des Fertigungsverfahrens und der damit herstellbaren Erzeugnisse sind differenzierte Vorgehensweisen sowohl in der Vorbereitung der Spezialmaterialien als auch in Kombination ihrer Verarbeitung mit den umgebenden Kettfadensystemen erforderlich.

Unabhängig von einzelner oder verketteter Einbindung der elektrischen Leiter innerhalb der textilen Konstruktionen ist hinsichtlich ihrer Vorbereitung zwischen gruppenintegrierter und gruppenunabhängiger Zuführung zu unterscheiden. Aus einer gruppenintegrierten Vorbereitung ergibt sich zwangsläufig eine bindungskonforme Einarbeitung, während bei gruppenunabhängiger Vorbereitung die Bindungswahl weitestgehend freibleibend ist. Zudem ist bei gruppenintegrierter Vorbereitung mit den in identischer Bindungsebene/Versatzlinie zu verarbeitenden textilen Garnen mindestens auf identische Querschnitte der zu kombinierenden Materialien zu achten. Nur so sind qualitativ wertige, gezettelte oder geschärte Fadenscharen zu erwarten.

Hinsichtlich der vorhandenen technischen Voraussetzungen in Verbindung mit den grundsätzlich für die Produktrealisierung erforderlichen Legebarren lassen sich für die Spezialmaterialien gegebenenfalls eigenständige Bindungs-/Musterungselemente einsetzen. Dies gilt insbesondere für Wirkmaschinen mit sieben Legebarren. Für bestimmte Warenkonstruktionen, die lediglich fünf Legebarren benötigen, ist dies auch für 6-barrige Wirkmaschinen gültig. Abzuwägen ist hierbei, ob bei Einsatz lediglich geringer Mengen der Sondermaterialien die Verwendung einer eigenständigen Versatzeinheit tatsächlich zielführend ist, insbesondere, wenn deren Legung/Bindung mit denen der umgebenden Kettfadensysteme übereinstimmt. Letzteres wird maßgeblich davon bestimmt, welche elektrische/elektrotechnische Funktionalität die eingebetteten Leiterzüge im Textil erfüllen sollen.

Eine verkettete Bindung von Gruppen elektrischer Leiter führt zur Reduzierung des Widerstandes innerhalb eines Leiterzuges. Hier wirken die Vervielfachung der Leiterquerschnitte und die Wiederholung von Verbindungen der einzelnen Leiter untereinander im Warenfortschritt. Für einen zu erzielenden Nennwiderstand kann der theoretisch erforderliche Nennquerschnitt eines einzelnen elektrischen Leiters auf die Anzahl der im Textil miteinander verkoppelten elektrischen Leiter aufgeteilt werden. Entsprechend geringe/feine Einzeldrahtdurchmesser können theoretisch zur Anwendung kommen. Kontinuierliche, unmittelbar aufeinanderfolgende Kopplungen resultieren im Wesentlichen mit der Einarbeitung der elektrischen Leiter unter Verwendung identischer Bindungs-/Musterungselemente. Die Wiederholungsfolge solcher Kopplungen kann variiert werden, wenn mindestens ein eigens dafür bindungstechnisch separates, idealerweise programmierbares Bindungs-/Musterungselement zum Einsatz kommt.

Mit vereinzelten elektrischen Leitern entsteht über die Stücklänge des Textils insgesamt ein höherer Widerstand. Der einzelne Leiterzug erhält durch seine Legung eine überproportional größere Lauflänge im Vergleich zur Erstreckungslänge des Textils. Um einem vorgegebenen Nennwiderstand zu entsprechen, ist der Leiterquerschnitt um das Verhältnis von eingebundener Leitungslänge zu Nennlänge anzupassen. Zu berücksichtigen ist insbesondere, dass resultierende Dimensionen vom Leiterquerschnitt innerhalb eines verarbeitungsfähigen Größenspektrums bleiben. Die elastisch-plastischen Formänderungseigenschaften und die Größenverhältnisse im Vergleich zu den Wirkwerkzeugen sind ebenfalls zu beachten.

Weiterhin sind die Forderungen an die Kontaktierung dieser elektrischen Leiter zur Entfaltung ihrer Funktion mitbestimmend. Die Zugänglichkeit einer Kontaktierungsstelle wird vornehmlich durch die Positionierung der Sondermaterialien im Strukturaufbau der 3D-Gewirke bestimmt. Bindungstechnische Nuancierungen können zusätzlich dazu beitragen, solche Kontaktierungsstellen explizit stärker auszuprägen. Dies verlangt unbedingt Bindung-/Musterungselemente, die mit sequenziell variierenden Legungen unabhängig von den Fadensystemen der tragenden Gewirkekonstruktion zu implementieren sind.

4 Versuchsprogramm, Produktsimulationen und Musterfertigung

4.1 Auswahl elektrischer Leiter

Drei verschiedene Grundtypen elektrischer Leiter sind in den Versuchsreihen zur Anwendung gebracht worden. Es handelt sich hierbei um:

- unisolierten Kupfer-Einzeldraht; blank,
- unisolierte Kupferlitze; feuerverzinnt,
- elektrisch leitend, nicht-metallisch beschichtetes Polyester Multi-Filamentgarn.

Während es sich bei dem beschichteten Polyester Multi-Filamentgarn um eine spezielle Forschungsleistung des Projektpartners TITV handelt, wurden die Kupfer-Materialien käuflich erworben.

Lediglich der Einzeldraht Typ 2 Cu Ø 0,10mm (Tabelle 3, obere Zeilen) stimmt dimensional für eine gemeinsame TKB-Aufmachung mit einem zweckmäßig für die Musterentwicklung anwendbaren Polyestergarn PET-Monofil Ø 0,10mm überein. Entsprechend konnte es für die gruppenintegrierte Zufuhr

und Verarbeitungsweise zur Anwendung gebracht werden. Für diese spezielle Form der Kettfaden-Aufmachung wurde der Projektpartner KSO Textil wirksam.

Sämtliche anderen elektrischen Leitermaterialien weichen von den bindungstechnisch zu kombinierenden Basisgarnen in erheblichem Maße ab.

4.2 Festlegungen zu den textilen Basisgarnen

Infolge der hauptsächlich nonkonformen Dimensionen zwischen elektrischen Leiter und bindungskonformen Basisgarnen erfolgt hauptsächlich eine jeweils gruppenunabhängige Verarbeitungsweise. Tabelle 3 weist die ausgewählten elektrischen Leiter mit ihren unmittelbar in Kombination verarbeiteten Basismaterialien (rote Schrift) sowie die Differenzen der mittleren Anhäufungsquerschnitte zwischen den bindungskonformen Materialien aus.

Tabelle 3: musterspezifische Garn-Leitermaterial-Kombinationen (rot: mit elektrischem Leiter bindungstechnisch korrelierende Garnmaterialien)

Elektrischer Leiter	Einzeldraht					Draht-Litze			HiTex	
	Cu∅ 0,07 mm		**Cu∅ 0,10 mm**	Cu∅ 0,12 mm		6x0,05 mm TW-0			PET dtex 220 f 96x1 carb.	
	dtex 345		dtex 704	dtex 1013		dtex 1110				
	Typ 1		Typ 2	Typ 3		Typ 4			Typ 5	
Maschinentyp	RD 7	RD 7	RD 6	HDR	HDR	RD 7	RD 7	RD 7	RD 7	RD 7
Mustertyp	I	J	R	S	T	I	I	J	U	U
kombinierte Gartypen	PET dtex 76 f24x1		PET dtex 167 f48x4 PET dtex 100 f48x4	PET dtex 167 f48x4		PET dtex 76 f24x1			PET dtex 76 f24x1	
	PET dtex 33 f1		PET dtex 33 f1 **PET dtex 108 f1**	PET dtex 434 f1		PET dtex 33 f1			PET dtex 33 f1	
	PET dtex 84 f36x1		PET dtex 167 f48x4	PET dtex 167 f48x4		PET dtex 84 f36x1			PET dtex 84 f36x1	
d_{elLtr}-$d_{BasisGarn}$	-0,023 mm		0,000 mm	-0,142 mm		0,120 mm			0,057 mm	
A_{elLtr}-$A_{BasisGarn}$	-0,003 mm²		0,000 mm²	-0,042 mm²		0,029 mm²			0,011 mm²	
$\Delta A_{elLtr/BasisGarn}$	-43,1%		-0,4%	-79,0%		427,6%			161,9%	
$\Delta Tt_{elLtr/BasisGarn}$	311%		552%	52%		1221%			162%	

4.3 Material-Verfahrens-Zuordnungen

Die Einflussnahme der Größenverhältnisse der verschiedenen Materialien zueinander ist erheblich. Technisch miteinander zu kombinierende Garne und Drähte sind geometrisch nicht bzw. nur in seltenen Fällen identisch, weshalb eine gruppenunabhängige Materialvorlage für die meisten Material-Kombinationen bevorzugt wird. Diese erfordert entweder die Bereitstellung zusätzlicher Ablaufstellen für unabhängige Kettfadenvorlagen bzw. reduziert die Gestaltungsfreiheit der textilen Konstruktion im Umfang der für Spezialmaterialien beanspruchten regulären Ablaufstellen und damit verbunden der zugehörigen Legebarren.

Gemäß einer Klassifizierung der Funktionsbereiche zu installierender elektrischer Leiterbahnen sind Strukturordnungsmodelle erstellt worden, anhand derer sich eruieren lässt, inwiefern sich theoretisch erforderliche Leiterbahnverläufe und damit verbundene Anordnungsdichten in wirkereitechnisch umsetzbare Strukturumgebungen übertragen lassen. Die Ordnung der Modelle erfolgt unter der Prämisse des elektrotechnischen Hauptmerkmales auf Grundlage textiltechnischer, -technologischer und anwendungspraktischer Parameter. Diese Modelle wurden fortlaufend präzisiert, die erforderlichen technisch-technologischen Bedingungen näher betrachtet und mit den gegebenen Voraussetzungen in Gegenüberstellung gebracht. Es ist festzustellen, dass sich die Umsetzung besonderer Integrationsformen, wie beispielsweise sequenzielle oberseitige Flottierungen, bei der Einarbeitung der elektrischen Leiterbahnen in die 2D-Struktur entweder durch ausschließlichen Einsatz bereits vorhandener Lege- und Versatzeinrichtungen oder durch Verwendung weiterer, für die Maschinentypen allgemein nicht serienmäßig verfügbaren Mittel realisieren lässt.

Tabelle 4: versuchspraktische Varianten elektrischer Leiter in Kombination mit deren grundlegenden, technisch-technologischen Merkmalen

Elektrischer Leiter	Einzeldraht					Draht-Litze			HiTex	
	Cu∅ 0,07 mm		Cu∅ 0,10 mm	Cu∅ 01,2 mm		6x0,05 mm TW-0			PET-Multi carbonised	
	Typ 1		Typ 2	Typ 3		Typ 4			Typ 5	
Maschinentyp	RD 7	RD 7	RD 6	HDR	HDR	RD 7	RD 7	RD 7	RD 7	RD 7
Mustertyp	I	J	R	S	T	I	I	J	U	U
Gruppenvorlage	unabhängig	unabhängig	**integriert**	unabhängig	unabhängig	unabhängig	unabhängig	unabhängig	unabhängig	unabhängig
Position/Lage	2-D	2-D	**3-D**	2-D	2-D	2-D	2-D	2-D	2-D	2-D
GB	6	6	4	1	6	7	7	7	6	6
Einarbeitung	vereinzelt	vereinzelt	vereinzelt	vereinzelt	vereinzelt	vereinzelt	verkettet	verkettet	verkettet	verkettet
	Bndg-konform	Bndg-konform	Bndg-konform	Bndg-konform	Bndg-konform	Bndg-konform	Bndg-konform	Bndg-konform	Bndg-konform	Bndg-konform
Legung	Trikot offen	Tuch offen	geschl. A-Form	offen Tuchfilet	offen Trikot	Trikot offen	Trikot offen	Tuch offen	Samt offen	Tuch offen
Bezng.	Cu 001	Cu 002	Cu 003	Cu 004	Cu 005	Cu006	Cu007	Cu 008	Hzng 01	Hzng 04

Basierend auf den getroffenen Zuordnungen wurden diverse Makrostrukturentwürfe zur Einbindung elektrischer Leiter in die entsprechenden Abstandsgewirke erarbeitet. (Tabelle 5 bis Tabelle 8) Deren legungstechnische Variabilität wird maßgeblich von der Legebarren-Anzahl bestimmt, weshalb diverse, technisch plausible Leiterbahnverläufe direkten Einfluss auf die realisierbaren mechanischen Grundleistungen der 3D-Gewirke haben.

Tabelle 5: Musterentwürfe mit Kupfer-Einzeldraht für RD-Maschinentypen; vereinzelt, bindungskonform

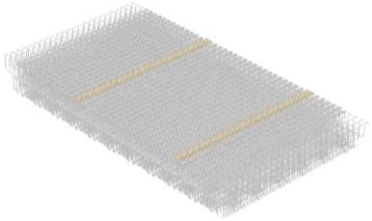
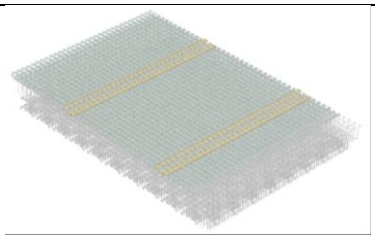
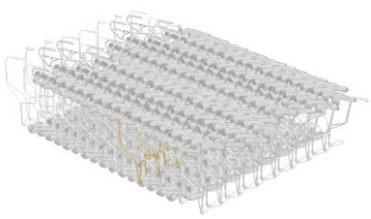
		
Cu 001	Cu 002	Cu 003

Tabelle 6: Musterentwürfe mit Kupfer-Einzeldraht für HDR-Maschinentyp; vereinzelt, bindungskonform

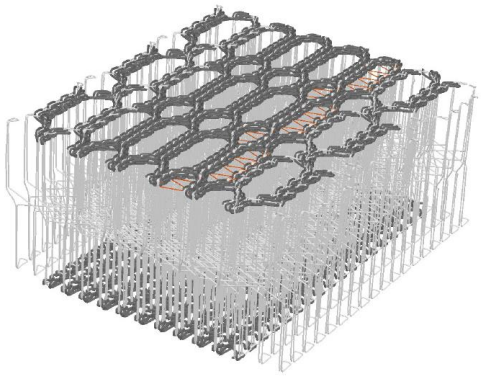
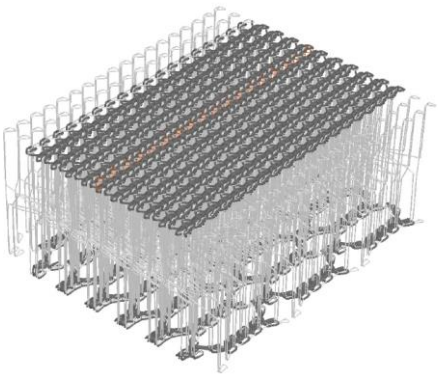
	
Cu 004	Cu 005

Tabelle 7: Musterentwürfe mit Kupfer-Drahtlitze für RD 7-Maschinentyp; vereinzelt oder verkettet, bindungskonform

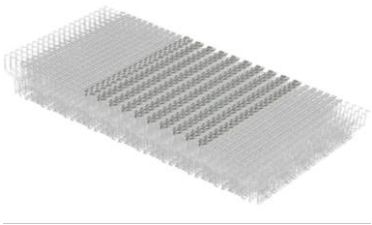
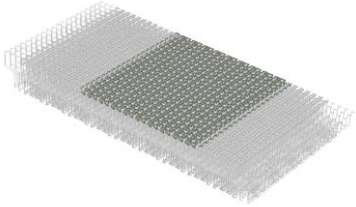
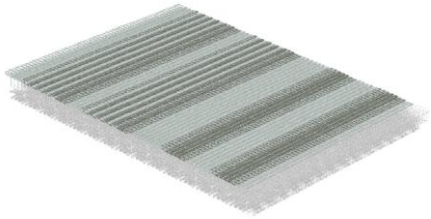
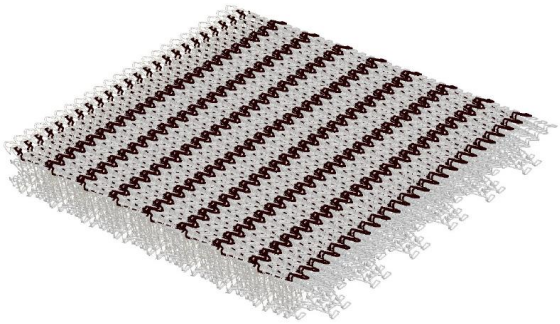
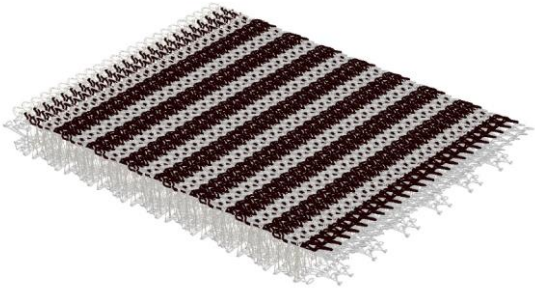
		
Cu 006	Cu 007	Cu 008

Tabelle 8: Musterentwürfe mit HiTex-Material für RD 7-Maschinentyp; vereinzelt oder verkettet, bindungskonform

	
Hzng 001	Hzng 004

Mittels Mustersimulationen wurden basierend auf vorhandenen Datensätzen in Anlehnung bzw. Ausrichtung auf etablierte Produktstrukturen die textiltechnologischen Verarbeitungsparameter im Transfer zu den ausgewählten Maschinentypen abgeleitet.

4.4 Wirkereitechnische Vorbereitungen und Technische Modifikationen

4.4.1 Einzeldraht-Verarbeitung, direkt von Spule

Die Verarbeitung einzelner Drähte, ob einadrig oder als Litze, erfolgt im Über-Kopf-Abzug von Spulen, vorzugsweise mit Konusscheibe, direkt vom Gatter. Maßgeblicher Vorteil dieser Verarbeitungsweise besteht darin, dass die einzubindenden elektrischen Leiter grundsätzlich abweichend von den Dimensionen und Strukturen der Kettfadensysteme gewählt werden können.

Abbildung 3: Kupferdraht von Spule mit Konusscheiben im Gatter

Abbildung 4: Gitterbremse mit Cu-Einzeldraht-Durchlauf direkt am Gatter

Ein Abgleich der geometrischen und mechanischen Struktureigenschaften innerhalb der dabei entstehenden 3D-Gewirke kann bei deutlich voneinander abweichenden Materialparametern durch

ergänzende, ebenfalls gesondert zugeführte Materialkomponenten kompensiert werden und wird bei der Produktauslegung im Falle kompensationsfreier Einarbeitung als erwartungsgemäß partiell abweichendes Struktureigenschaftsmerkmal berücksichtigt. Die Drahtführung vom Speichermedium Spule erfolgt über Kopf, wobei der Konus von der Wicklung zum Spulenrand ein gleichmäßiges Ablaufen des Drahtes unterstützt. (Abbildung 3) Die Abzugsgeschwindigkeit resultiert als passive Fadenkinematik vorwiegend aus dem unmittelbaren Verbrauch an der Verarbeitungsstelle der Wirkmaschine. Entstehende Schwankungen der Geschwindigkeit und davon beeinflusst auch der Zugspannung beim Abzug des Drahtes lassen sich in kurzer Distanz zur Spule durch massevariabel belastbare Gitterbremsen weitestgehend kompensieren. (Abbildung 4) Ursprung solcher Schwankungen sind die Barrenbewegungen und die zyklischen Verbräuche im Maschenbildungsprozess, die hauptsächlich über die vor den Wirkwerkzeugen installierten Fadenwippen ausgeglichen werden.

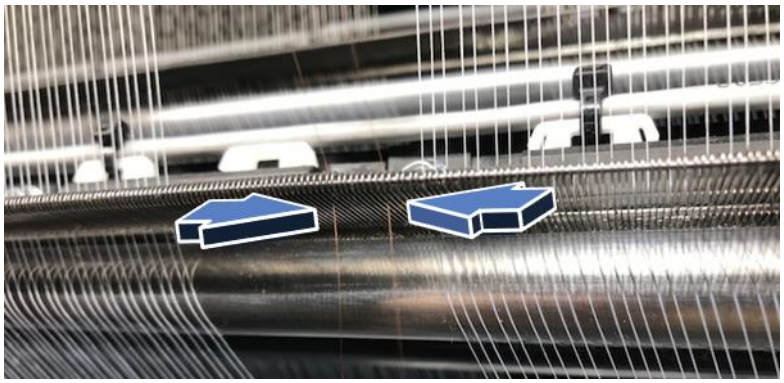


Abbildung 5: Drahtzuführung parallel im Führungssystem der 2D-Basisgarne

Bei bindungskonformer Verarbeitung vereinzelter elektrischer Leiter erfolgt die Drahtzuführung parallel im Führungssystem mit den Basisgarnen über dieselben Fadenwippen und wurde für die Mustervarianten Cu 001, Cu 002, Cu 004 und Cu005 angewendet. (Abbildung 5)

4.4.2 Gruppenintegrierte Einzeldraht-Verarbeitung

Für eine kontinuierliche Einarbeitung eines elektrischen Leiters in das Abstandsfadensystem von 3D-Gewirken ist eine direkte Zuführung aus einer Kettfadenschar unabdingbar. Insbesondere im Hinblick auf produktionsnahe Verarbeitungsbedingungen erfolgt dies in Verbindung mit einer aktiven Zuführung über elektronisch geregelte Kettfaden-Lieferwerke. In Abstimmung mit dem Projektpartner KSO-Textil wurde ein vollständiger Kettsatz mit speziellem Kettbaum geschärt. (Abbildung 6)

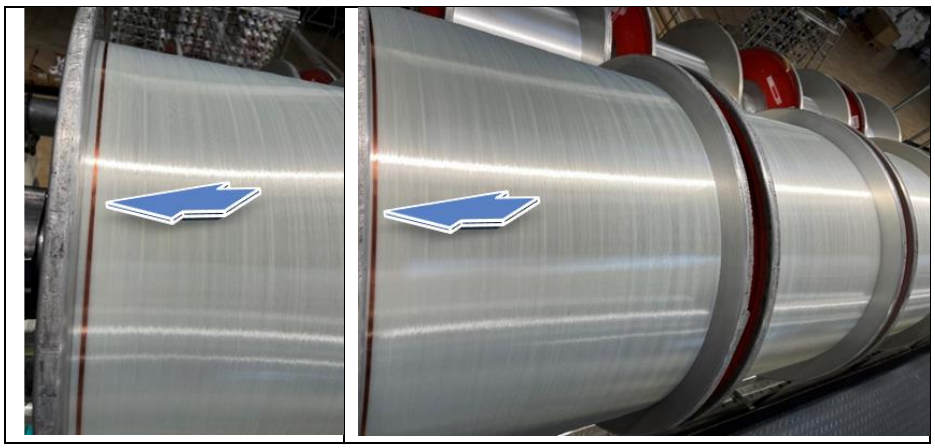


Abbildung 6 a/b: Teilkettbaum und Kettbaumsatz (Vorlage in Wirkmaschine) mit darin enthaltenem 0,1 mm Cu-Draht

Dieser enthält in Kombination mit PES- Monofil einen im Durchmesser von 0,1 Millimeter gleichgroßen Cu-Draht. Monofile solchen Durchmessers sind u.a. typisch für die Verwendung in etablierten Produktkonstruktionen. Mit geeigneter Platzierung des einzelnen Cu-Drahtes innerhalb der

Kettfadenschar wurde dessen Verarbeitungsfähigkeit am Beispiel realer Produktionsbedingungen unter Verwendung hierfür bestätigter Technologieparameter untersucht.

Die Ketttbaumauflagen befinden sich in einem kürzeren Abstand zur Wirkstelle, als es mit der Platzierung von Spulengattern grundsätzlich möglich ist. Entsprechend erfolgt die Zuführung des Drahtlaufes über eine kürzere Strecke. Hinsichtlich der Führungselemente und des Einsatzes von Fadenwippen wird in gleicher Weise verfahren wie bei der Einzel-Drahtverarbeitung von Spule. (Abbildung 5) Die gruppenintegrierte Verarbeitungsweise wurde bei der Herstellung des Musters Cu 003 gewählt.

4.4.3 Gruppenunabhängige Mehrfachverarbeitung

Auch hier kann der bereits unter 4.4.1 genannte Vorteil durchaus abweichender Dimensionen und Strukturen der einzubindenden elektrischen Leiter im Vergleich zu den parallel einzuarbeitenden Kettfäden genutzt werden.

Für die gruppenunabhängige, bindungskonforme Einarbeitung von Drähten/Litzen/elektrischen Leitern in ausgewählte Bindungsebenen empfiehlt sich die Verwendung sogenannter Kurzketten auf Teilkettbäumen, deren Verarbeitungsqualität den für Wirkerei spezifischen Anforderungen entsprechen. Hierzu wurde die im Unternehmen verfügbare Spul- und Schärtechnik eingesetzt. Die Verarbeitungsfähigkeit passiv zugeführter, gruppenunabhängiger Fadengruppen entsprechend vorbereiteter Teilketten wird von der Anzahl darin enthaltener Drähte/Litzen/elektrischer Leiter beeinflusst, während die Mindestmenge zudem von der verfügbaren Schärtechnik mitbestimmt wird.

Zunächst wurde das zu verarbeitende Litzenmaterial auf für Spulengatter taugliche Kopse übertragen. (Abbildung 7) Als Wicklungstyp für den Einsatz zylindrischer Kopse wurde eine steile Kreuzwicklung gewählt.

Eine erste Spulstelle wurde für die Erprobung und Einrichtung der erforderlichen mechanischen Spannung in Wirkung auf die umzuspulenden Drahtlitzen verwendet. Die hohe Zugfestigkeit der Litzen verlangt beim Herstellen der Spulen mit gleichmäßigen Wicklungsbildern einen erhöhten Spannungseintrag im Vergleich zu im Unternehmen üblicherweise verwendeten klassischen Garnmaterialien. Nach Erfassung der anwendungstauglichen Parameter wurden anschließend die insgesamt zur Verfügung stehenden 5 Spulstellen der SSM-Spulmaschine mit identischer Spannungsmechanik ausgestattet und das Litzenmaterial zu 24 Stück Einzelspulen weiterverarbeitet.

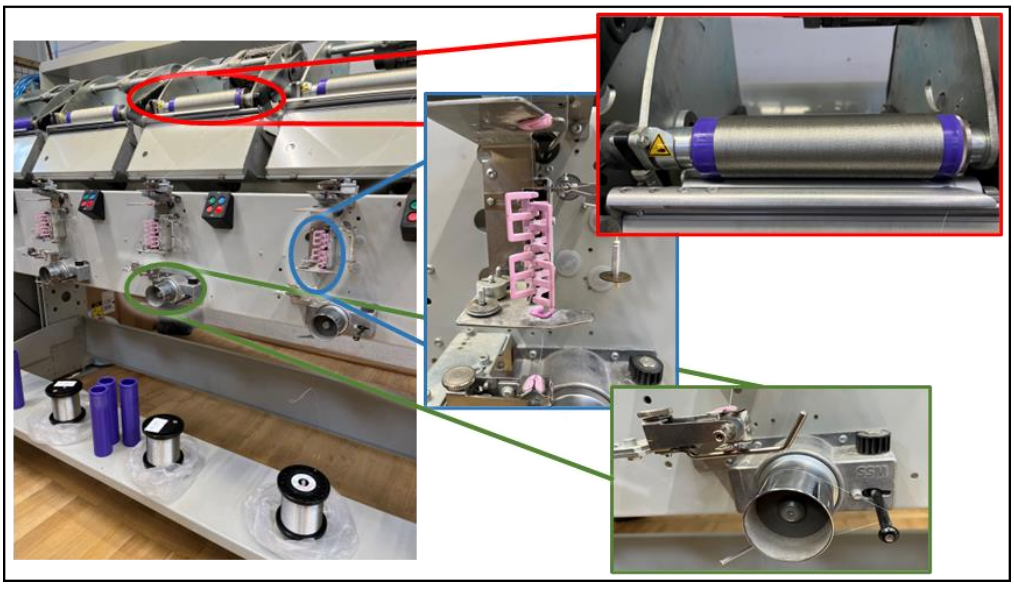


Abbildung 7: Spulprozess der Cu-Litzen von Lieferspule auf gatterfähige Kopse in Vorbereitung der Teilkettbaum-Fertigung

Für die avisierte Einarbeitungsbreite der 24 Drahtlitzen mit vollem, halbem und partiell separiertem Einzug sollen zur wirktechnischen Bereitstellung und Zuführung Teilkettbäume in Größe 7“x14“ (Breite x Durchmesser) verwendet werden. Um beim Ablauf der gespulten Litzen im Gatter den entstehenden Ballon zu begrenzen, wurden die Spulen jeweils mit einer Kunststoffhülle umschlossen. Für einen gleichmäßigen Spannungseintrag auf den jeweiligen Drahtzug kamen Teller- und Federbügelbremsen mit keramischen Bremsscheiben und Ösen zum Einsatz. Der weitere Verlauf des Drahtzuges vom Gatter zur Schärmaschine erfolgte in klassischer Weise über diverse Ösen und Riedstäbe. (Abbildung 8)

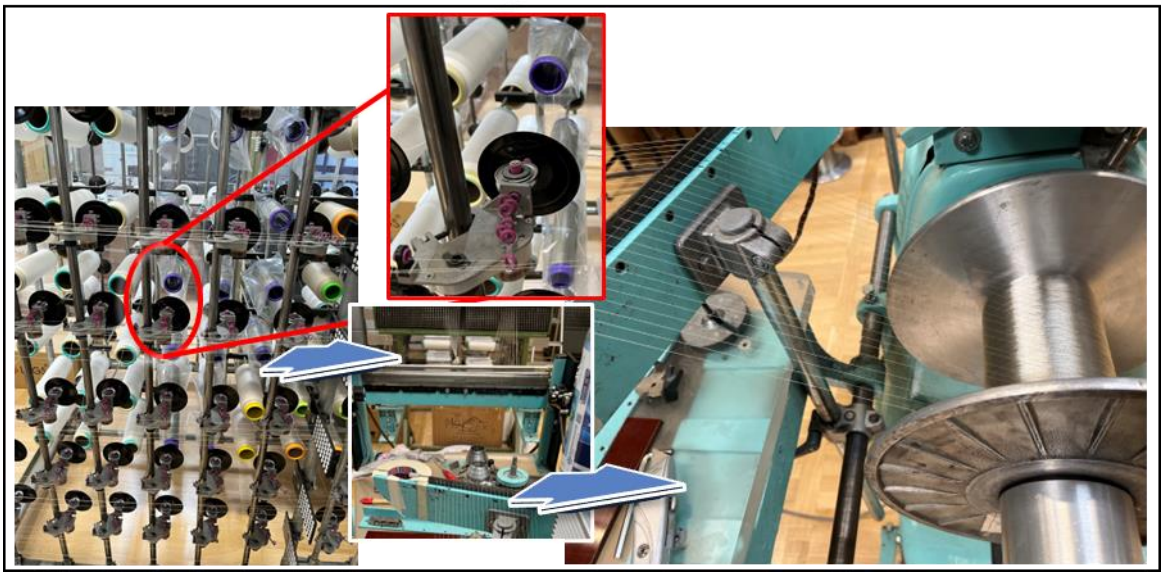


Abbildung 8: Herstellung einer Drahtlitzen-Kurzkette auf TKB 7x14“

Unter fortschreitender Einrichtung dieser Bedingungen wurden in aufeinader aufbauenden Versuchsfolgen die materialspezifischen Schärparameter (Litzen-Vorspannungen in Abhängigkeit der Laufstrecken; Schärriedteilung und-stellung) zur Herstellung der Teilkettbäume ermittelt. Mit der aus 24 Litzen resultierenden Teilung von ca. 7,5 Millimeter pro Cu-Litze konnten wirktechnisch verarbeitungsfähige Teilkettbäume geschärt werden.

4.4.4 Gruppenunabhängige Mehrfachverarbeitung mit separater Zuführung von Kurzkette (TKB 7x14“)

Die gewählte Anzahl von 24 Drahtlitzen pro TKB konnte auf Basis umfangreicher Versuchsreihen als ausreichend festgestellt werden, um eine passive Lieferung/Materialgabe anzuwenden. Mit den Bauraumanalysen an den verschiedenen 3D-Wirkmaschinen wurden die getroffenen Festlegungen zur TKB-Größe von 7”x14” für die Spezialmaterialien gleichermaßen bestätigt, da sich somit zusätzliche, parallele Ablaufstellen im Kettbaumgestell in mittelbarer Nähe zu den Ablaufstellen der EBC-Grundausstattung implementieren lassen. Entsprechende TKB-Aufnahmen wurden angefertigt. Eine gruppenunabhängige Materialzufuhr auf kurzem Weg über die Kompensationselemente und zur Wirkstelle parallel mit den herkömmlichen Garnmaterialien wird so gewährleistet.

Zur Spannungsregulierung der passiv zuzuführenden Komponenten kommt eine Band-/Seilbremse mit direkter Wirkung auf die Rotationsachse der TKB-Ablaufstelle zum Einsatz. Neben zusätzlichen Fadenrieden zur Teilung der Litzen im Materialzulauf und deren gezielter Separierung von den Basis-Fadensystemen für ein und dieselbe Bindungsebene wurden die Modifikation und technischen Ergänzungen durch zusätzliche Federelemente im sog. Fadenkreuz erfolgreich angewendet. Unter Berücksichtigung der technischen Grundausstattungen der Wirkmaschinen wurde vorerst für gruppenunabhängig bindungskonform zu verarbeitende Kettfadensysteme auf den gemeinsamen Einsatz der allgemein verfügbaren Komponenten zur Fadenführung und Spannungskompensation fokussiert.

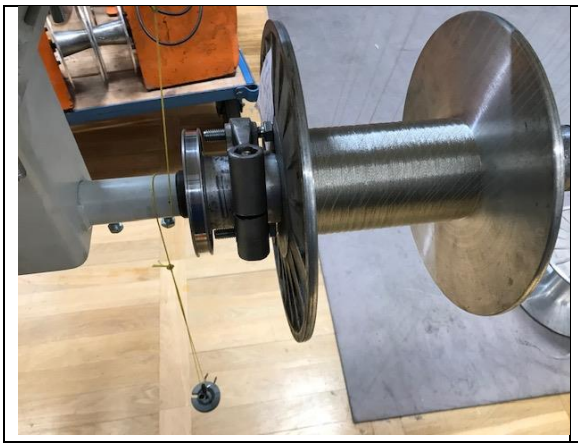


Abbildung 9: 24 Litzen-TKB auf separatem passiven Ablaufträger

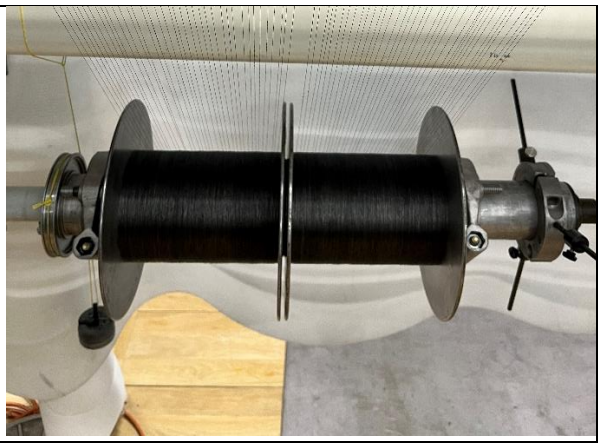


Abbildung 10: 2x28 HiTex-TKB auf separatem passiven Ablaufträger

In Voruntersuchungen festgestellte Spannungsunterschiede bei gruppenunabhängiger, bindungskonformer Verarbeitung der Cu-Litzen innerhalb ein und derselben Kompensationsstrecke durch Änderung der mechanischen Federn sowohl am Federbalken (Blattfedern oder Haarnadelfedern) als auch an den Fadenwippen (Spiralfedern) auszugleichen, hatte diverse Beeinträchtigungen der allgemeinen Verarbeitungsfähigkeit zur Folge. Spannungsreduzierungen (geringere Federkräfte) ergaben bereits bei Einarbeitung in die Gewirkeoberflächen und damit einhergehend niedrigen Faden-/Drahtmengenbedarfen uneinheitliche, nicht qualitätskonforme Bindungsoptiken. Mit Erhöhung der Federkräfte traten vermehrt Fadenbrüche auf, die eine kontinuierliche Produktionsweise behinderten.

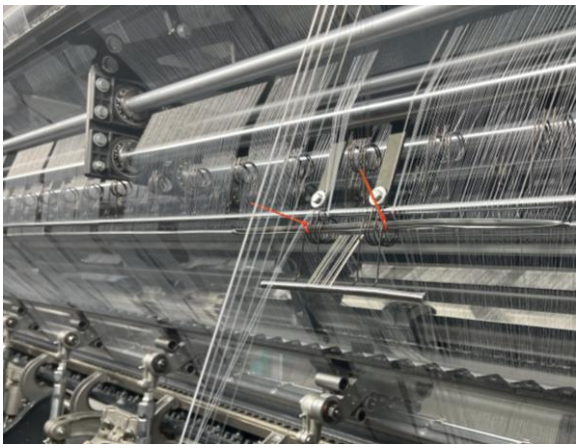
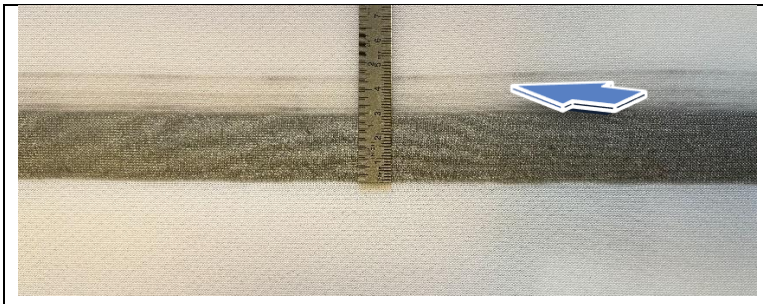


Abbildung 11: für Litzenverarbeitung erweitere Fadenwippe

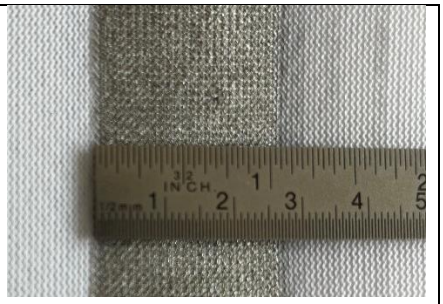
Im Zuführbereich der Einarbeitungssequenzen der elektrischen Leiter wurden daher die vorhandenen Fadenwippen der technischen Grundausstattung um zusätzliche Federelemente erweitert, so dass eine unabhängige Spannungsregulierung der auf Teilkettbäumen präparierten elektrischen Leiter erreicht wurde. Gleichzeitig wurden mit diesen technischen Erweiterungen die Möglichkeiten zur Separierung der Litzen in paralleler Zuführung zu den herkömmlichen Kettfadenscharen und damit das unbeeinträchtigte Bindungsverhalten sämtlicher zugeführter Materialien verbessert.

4.5 Materialspezifische Einflüsse auf Komponenten der Verarbeitungstechnik

Verunreinigungen durch Staubentwicklung in Verarbeitung der verwendeten Funktionsmaterialien spielen eine zu vernachlässigende Rolle. Vielmehr sind die Materialablagerungen der aus weichen Metallen wie Kupfer und Zinn bestehenden elektrischen Leiter erheblich. Der Abrieb entsteht beim fortlaufenden Gleiten der Metalldrähte über die Führungselemente und deren Verarbeitung durch die Wirkwerkzeuge, welche vorwiegend jeweils aus vergüteten Stählen bestehen. Entsprechende Markierungen des auf die Fadenführungselemente und Wirkwerkzeuge entstandenen Materialübertrages zeichnen sich mit dem Materialwechsel auf herkömmliche, z. B. rohweiße Polyestergarn-Materialien im Warenbild deutlich ab.



a



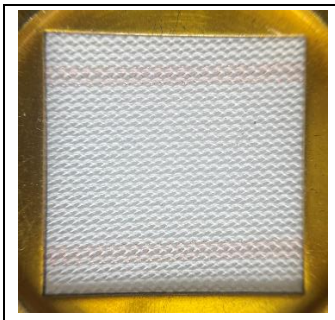
b

Abbildung 12 a,b: Verunreinigung im Rohweiß-Polyester (Muster Cu 007) aus vorheriger Belegung benachbarter Nadeln mit verzinnter Cu-Litze

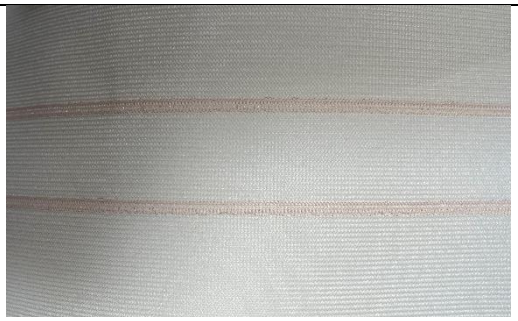
4.6 Ergebnisse aus Herstellung und Untersuchung der entworfenen Mustervarianten

4.6.1 Cu-Einzeldraht-Muster auf RD 7/2-12 EN-Maschinentypen

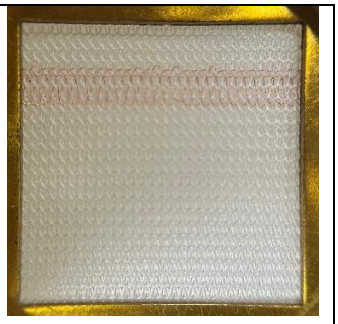
Auf Basis der Mustertypen „I“ und „J“ (Tabelle 4) erfolgte die Herstellung der Musterserien Cu 001 und Cu 002. Die aus den umfangreichen Voruntersuchungen abgeleiteten materialspezifischen Einflüsse und getroffenen verfahrenstechnischen Maßnahmen führten zu einer Fertigung unter vergleichsweise produktionsnahen Verarbeitungsbedingungen. Dies betrifft sowohl Verarbeitungsgeschwindigkeit als auch die Gleichmäßigkeit der Verarbeitungsqualität. In beiden Fällen wurden jeweils Cu-Einzeldrähte mit Durchmesser 0,07 mm in einem Abstand von 22 Nadeln (gleich 25, 4 Zoll) unter den Bedingungen nach 4.4.1 verarbeitet. Das sekundäre Ziel einer bindungskonformen Einarbeitung der elektrischen Leiter wurde erreicht.



a



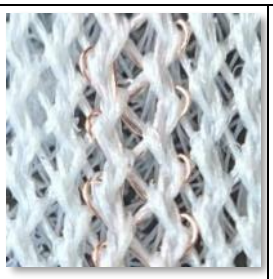
b



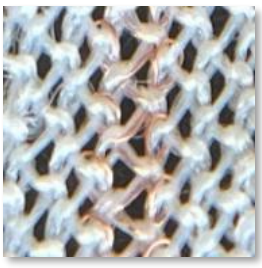
c

Abbildung 13: a) Detail Cu 001 mit Cu-Draht ∅0,07 mm in Trikot-Legung; b, c) Warenabschnitt und Detail Cu 002 mit Cu-Draht ∅0,07 mm in Tuch-Legung

Im Vergleich der eingearbeiteten Materialmengen ist festzustellen, dass mit passiver Materialzuführung des Cu-Drahtes eine identische Lauflänge gegenüber dem Polyester-Basisgarn erzielt werden kann. Die funktionsspezifische Auslegung hinsichtlich der elektrischen Eigenschaften pro Warenlänge kann daher mindestens für den mechanisch unbelasteten Zustand der Textilien auch auf Grundlage der textiltechnologischen Basisparameter erfolgen. kann.



a)



b)

Signifikante Auswirkungen der unelastischen Verformung des Cu-Drahtes sind die breit ausgeformten Maschenköpfe in Verbindung mit einer breiteren Aufspannung des Unterlegungsabschnittes. (Abbildung 14)

Abbildung 14: a) Cu 001, rechte Warenseite; b) linke Warenseite, 3D-Monofile entfernt

Im Allgemeinen weist das Auswertungsergebnis darauf hin, dass die Verarbeitungsgeschwindigkeit des Garnmaterials im entsprechenden Bindungssystem, im konkreten Fall im Mittel ca. 1 m/min, vom Drahtmaterial gleichermaßen geleistet werden

Auch das um ca. 57 % erhöhte Belegungsvolumen der Wirknadeln, die im konkreten Fall zusätzlich zum Basisgarn den Cu-Draht verarbeiten, nimmt hierauf keinen nennenswerten Einfluss (siehe Tabelle 3). Eine Überdeckung des elektrischen Leiters auf der rechten Warenseite lässt sich für die gewählte Materialkonstellation damit bedingt erzeugen.

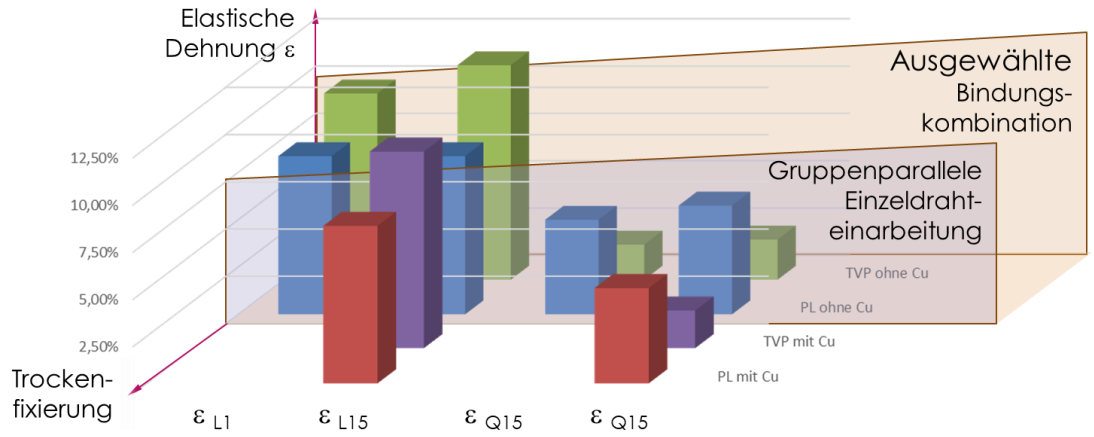


Abbildung 15: elastische Längs- und Querdehnung in Variation von Vorlast und Thermofixierung

Maßgebliche Veränderungen der elastischen Spannungs-Dehnung-Eigenschaften der Gewirke mit der Einbindung einzelner Cu-Drähte im gewählten Abstand zueinander wurde weder bei Prüfung der Eigenschaften sowohl ohne als auch mit vorausgehender Lastwechselbeanspruchung nicht festgestellt. Auch bei unterschiedlicher Behandlung im Thermofixierung-Verfahren (PL vs. TVP) wird dieses Ergebnis verfahrensinternen Vergleich bestätigt. (Abbildung 15)

4.6.2 Cu-Einzeldraht-Muster auf RD 6-Maschinentypen

Die Integration von Cu-Draht innerhalb einer 3D-Struktur erfolgte auf Grundlage der technologischen Einrichtungen gemäß Abschnitt 4.4.2 im Muster Cu 003 (Typ „R“). Die textile Konstruktion ist gekennzeichnet durch zwei legungstechnisch deutlich voneinander verschiedene Oberflächenkonstruktionen mit der Zielstellung, die Überdeckungsgrade des elektrischen Leiters in den gegenüberliegenden Oberflächen dabei zu variieren.

Abbildung 16: Cu 003; im Bild links Musterseite mit überdeckter Drahteinbindung; im Bild rechts Musterseite mit offener Drahteinbindung

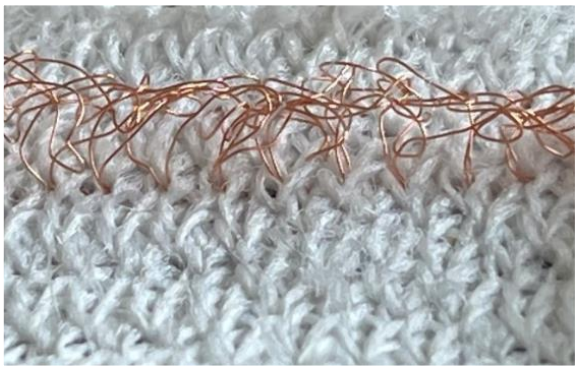


Abbildung 17: aus Musterseite mit offener Drahteinbindung und 3D-Monofil-Struktur extrahierte Drahteinbindung

Eine oberflächenoffene Einbindung dient dem Zweck, die Kontaktierung des elektrischen Leiters zu optimieren. Eine zur Oberfläche geschlossene Einbindung verfolgt das Ziel, die ursprüngliche Haptik der textilen Basiskonstruktion nicht zu verändern bzw. störend zu beeinträchtigen. Angestrebte

unterschiedliche Überdeckungsgrade der Drahteinbindung lassen sich durch geeignete Bindungsvarianten und in Kombination mit angepassten Garnfeinheiten die in zielführender Weise verwirklichen. (Abbildung 16).

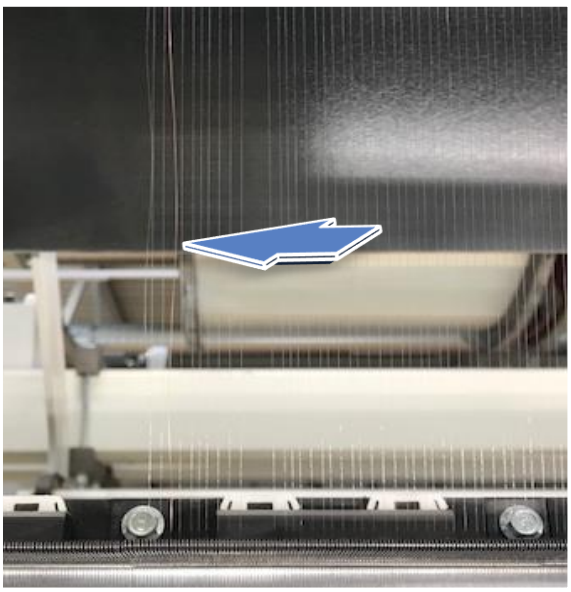


Abbildung 18: Alternierender Spannungsabfall am Cu-Draht im Vgl. zum parallel verarbeiteten PES-Monofil

Die aktive Lieferung des Cu-Drahtes in direkter Parallelität zu dem dimensionsgleichen 3D-Monofil-Fadensystem aus ein und derselben TKB-Aufmachung führt in Beziehung zu den gewählten Lieferwerten bedingungsgemäß zu einer vergleichbaren Drahtmenge innerhalb der textilen Konstruktion. Aus der gewählten Bindungsart und den Grundeinstellungen der Wirkmaschine resultieren mittlere Drahtgeschwindigkeiten von 5 m/min, die sich ohne Einschränkungen der Produktionsleistung umsetzen lassen. Dennoch bewirkt das schwankende Geschwindigkeitsprofil, resultierend aus dem Schwing- und Versatzbewegungen der Legebarre, einen alternierenden Spannungswechsel des Cu-Drahtes entlang der freien Erstreckung vom Kettbaum zur Wirkstelle, welche sich bis zur Fadenführung der Legebarre besonders abzeichnet. (Abbildung 18)

4.6.3 Cu-Einzeldraht-Muster auf HDR 6 EL/HD-Maschinentyp

Die technischen Maßnahmen zur Verarbeitung entsprechend Abschnitt 4.4.1 wurden ebenfalls für die Anfertigung der Muster Cu 004 (Mustertyp „S“) und Cu 005 (Mustertyp „T“) zur Anwendung gebracht.

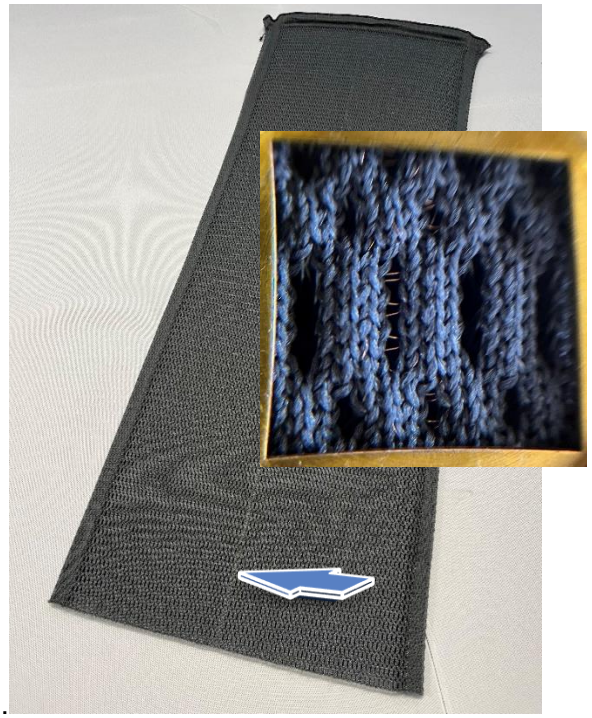


Abbildung 19: Muster Cu 004

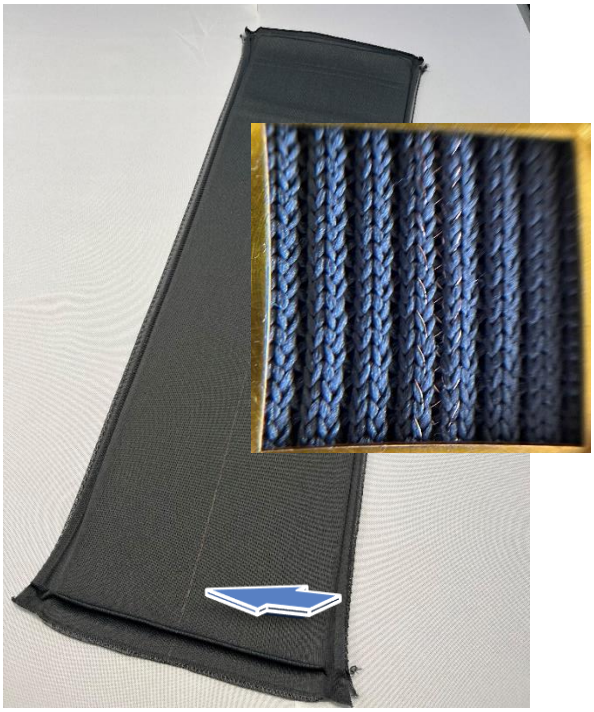


Abbildung 20: Muster Cu 005

In Verbindung mit gröberen Nadel- und. Garnfeinheiten sowie bedingt niedrigerer Tourenzahl dieses Maschinentyps resultieren für den hier zum Einsatz gebrachten Cu-Draht ∅ 0,12mm bei mittleren Drahtgeschwindigkeiten von ca. 1,2 m/min keine maßgeblichen Beeinträchtigungen bzw. Einschränkungen bei dessen Verarbeitung. Derartige Integrationen in den Maschenverbund einer für Matratzen- und Bettauflagen typischen Polsterkonstruktion verfolgen das Ziel, einer für medizinische und therapeutische Zwecke in solchen Anwendungen gebräuchlichen Sensorik vor-installierte elektrische Versorgungs- und Datenübertragungsleitungen bereitzustellen.

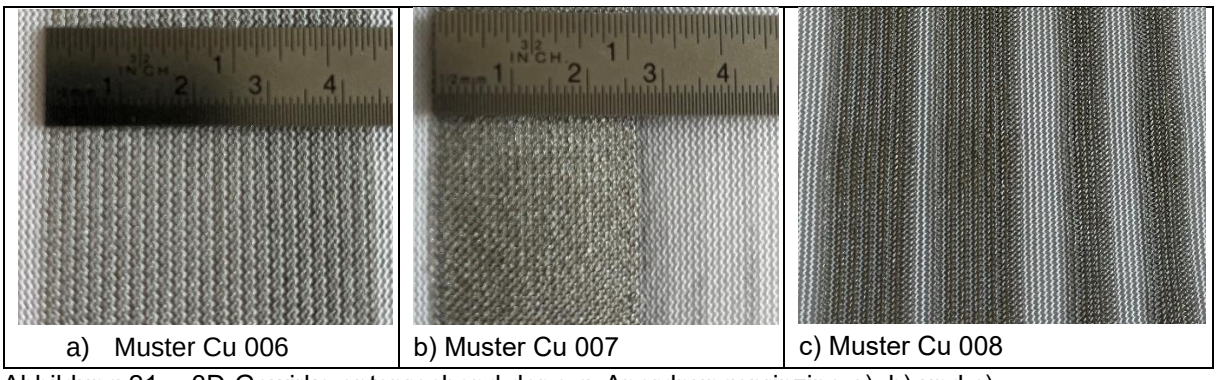
Prüfungen spezieller mechanischer Eigenschaften wurden an diesen Mustern nicht vorgenommen.

4.6.4 Gruppenunabhängige Mehrfachverarbeitung von Cu-Litzen auf RD 7/2-12 EN-Maschinentypen

Basierend auf den technischen Maßnahmen gemäß 4.4.3 und 4.4.4 sind unterschieden nach den drei Anordnungsprinzipen

a) separate Einbindung von Cu-Litzen in gleichmäßiger Aneinanderreihung nach Mustertyp „I“,
b) verkettete Einbindung von Cu-Litzen in gleichmäßiger Aneinanderreihung nach Mustertyp „I“,
c) verkettete Einbindung von Cu-Litzen in separierten Gruppierungen nach Mustertyp “J”

Mustermaterialien gefertigt worden. Während für die ersten beiden Anordnungsprinzipe die technologische Umsetzung mit den daraus folgenden Verarbeitungsparametern und der Verarbeitungsqualität im Mittelpunkt stand, sollte das dritte Anordnungsprinzip für eine zu untersuchende Schaltarbeit der Kontaktbahnen in Abhängigkeit des elastischen Spannungs-Dehnungs-Verhaltens dienen.



a) Muster Cu 006 | b) Muster Cu 007 | c) Muster Cu 008

Abbildung 21: 3D-Gewirke entsprechend der o.g. Anordnungsprinzipe a), b) und c)

Mit einem gegenüber den kooperierenden Basisgarnen mehr als 400 Prozent größeren Querschnitt der Überlänge Cu-Litze und in Verbindung mit der gewählten hohen Maschendichte resultiert aus dem Platzbedarf des Leitermaterials eine geringfügig proportional höhere Einlauflänge. Im unmittelbaren Wechsel des Einzuges zwischen elektrischen Leiter und Multifilamentgarn (Muster Cu 006) beträgt die Differenz bereits 7 % und wächst bei vollem Einzug (Muster Cu 007) innerhalb der Bindungssequenz auf immerhin über 25 % an. Gleichzeitig treten für Muster Cu 007 auf Grund der erhöhten Anordnungsdichte der Litze wiederholt Bindungsfehler auf. Beide Muster wurden auf den Einfluss der Einbindung elektrischer Leiter auf die elastischen Längsdehnungseigenschaften untersucht. Bei beiden Mustern ist festzustellen, dass eine Reduzierung der sich elastischen Eigenschaft gegenüber der herkömmlichen Materialzusammensetzung („Blank“) resultiert, die jedoch bei Muster Cu 007 infolge der deutlich erhöhten Materialmenge in der Maschenkonstruktion tatsächlich niedriger ist. (Tabelle 9 ,Abbildung 22)

Ähnliche Einflussnahme der Einbindung elektrischer Leiter auf das Dehnungsverhalten lässt gleichermaßen bei Muster Cu 008 erkennen. Dominantere Einwirkung auf die Eigenschaftsänderung haben allerdings die Behandlungen durch Ausrüstung. (Tabelle 10;Abbildung 23) Sowohl die Thermofixierung selbst wie auch die Ausrüstungen für Flecken- und Flammschutz, die vollständig an den hierfür bereitgestellten Musterserien durch den Kooperationspartner Textilausrüstung Pfand absolviert wurden.

Tabelle 9: elastische Längsdehnung Cu 006 und Cu 007

	Längsdehnung	
	separiert Cu006	verkettet Cu007
Blank	11,25%	12,75%
Cu-Litze	8,93%	11,67%

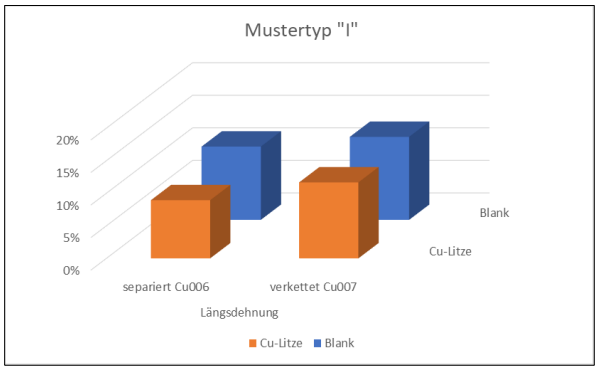


Abbildung 22 elastische Längsdehnung Cu 006 und Cu 007

Tabelle 10: elastische Dehnungen Cu 008

	Quer-dehnung	Längsdehnung	
	Blank		Cu-Litze
Rohware	17,30%	17,67%	21,73%
Trocken Fixrg.	10,74%	6,04%	8,51%
Antifleck.	4,83%	3,95%	6,40%
Flammschutz	7,98%	6,80%	8,94%

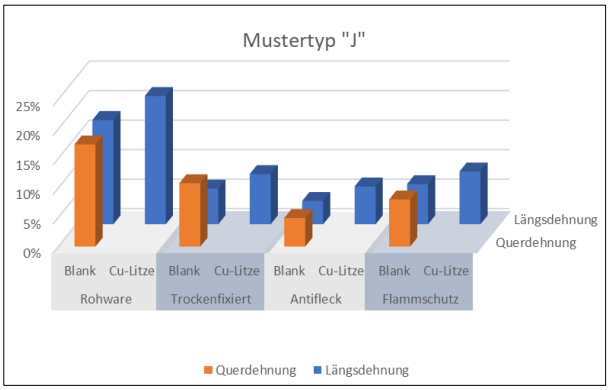


Abbildung 23: elastische Dehnungen Cu 008

4.6.5 Gruppenunabhängige Mehrfachverarbeitung von HiTex auf RD 7/2-12 EN-Maschinentypen

Zur Anfertigung von Funktionsdemonstratoren wurde im Projektkonsortium für die Verwendung von Carbon beschichteten Polyestergarn „HiTex“ entschieden. Auf Teilkettbäumen entsprechend Abbildung 10 aufgemacht wurde das Material zur Verarbeitung gebracht. Ähnlich zur Verarbeitung der Kupferlitze ist auch hier durch den um ca. 160 % Prozent höheren Materialquerschnitt im Vergleich zum kooperierenden textilen Basismaterial ein geringfügig höherer Verbrauch festzustellen. In Abhängigkeit der jeweiligen Anordnungsfolge, für Muster Hzng 001=1/4 und für Muster Hzng 004=2/4, beträgt dieser jeweils 5 % für Hzng 001 bzw 15 % für Hzng 004.

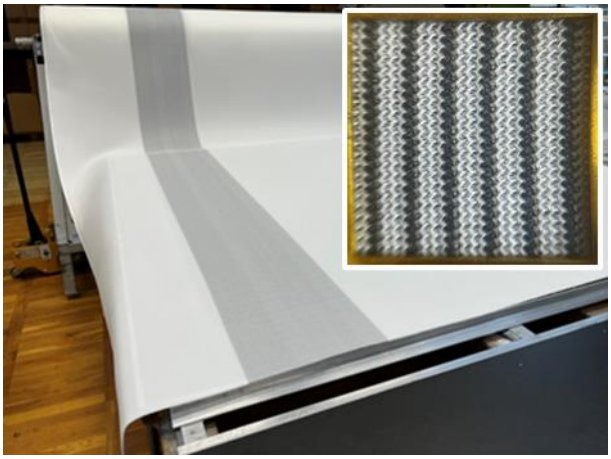


Abbildung 24: Mustermaterial Hzgn 001 mit Detail 1/4-Einbindungsfolge dtex 220 PET carbon

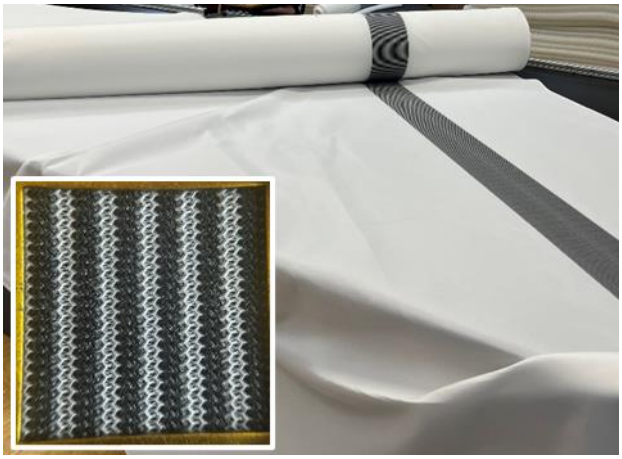


Abbildung 25: Musteraterial Hzgn 001 mit Detail 1/4-Einbindungsfolge dtex 220 PET carbon

Da sich bei dem Funktionsgarn ebenfalls um Polyestermaterial handelt, weist es ein vergleichbares Verhalten im Thermofixierprozess auf wie das kooperierende Garnmaterial. Somit sind im Schwankungsbereich von 1 bis 2 % die elastischen Längs- und Querdehnungen geringfügig veränderlich. Die insgesamt allgemein niedrigeren Dehnungsraten resultieren aus der funktional bedingt veränderten Bindungsart, die eine stärkere Verkettung der Materialien untereinander zur Folge hat. Im Muster Hzng 004 wirkt sich das verstärkt durch die 2/4-Einzugsfolge aus.

Tabelle 11: elastische Dehnungen Mustermaterial Hzng 001 und Hzng 004

	Quer-dehnung	Längs-dehnung
BLANK	2,4%	6,0%
Hzng 001	3,1%	6,6%
Hzng 004	1,5%	4,6%

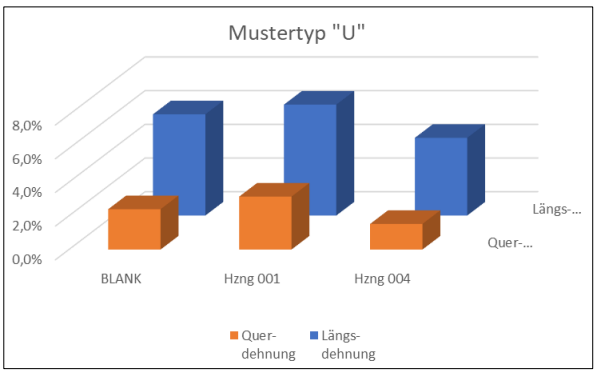


Abbildung 26: elastische Dehnungen Mustermaterial Hzng 001 und Hzng 004

In enger Zusammenarbeit mit dem wiss.-techn. Projektpartner TITV Greiz wurden auf Grundlage der Musterentwicklung zu beiden Varianten Hzng 001 und Hzng 004 Funktionsdemonstratoren angefertigt.

5 Ergänzende Darstellungen

5.1 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zum Zeitpunkt der Antragstellung erwartete Materialaufwand konnte durch eine systematische und ausgewogene Maßnahmenplanung und Vorgehensweise durch Koordination und Kooperation innerhalb des Projektkonsortiums erheblich verringert werden. Insofern konnten bei Antragstellung nicht vorausgesehene, sich im Verlauf des Vorhabens erhöhende Aufwendungen im Personaleinsatz wie auch angemessene Anpassungen der Stundenlöhne an allgemeine Lohnentwicklungen, in Beziehung zum Gesamtbudget kompensiert werden. (Tabelle 1)

Tabelle 12: Vergleich der Kostengrößen

	Abgerechnete Kosten	Gesamt-Vorkalkulation
Materialkosten	32.417,18 €	57.586,80 €
Personalkosten	290.049,94 €	263.301,32 €
Reisekosten	1.421,00 €	3.000,00 €
SUMME	323.888,12 €	323.888,12 €

5.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten

Die vorwettbewerblichen, grundlegend auf die Technologieentwicklung ausgerichteten Arbeiten stellen für einen Akteur der gewerblichen Wirtschaft ein erhöhtes Risiko dar. Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsleistungen gehen über die üblicherweise produktorientierten Aktivitäten eines klein- und mittelständischen Unternehmens weit hinaus und lassen sich lediglich durch geförderte Zuwendungen absolvieren.

Mit der Integration elektrischer Leiter in den unterschiedlichen Strukturebenen von Abstands- und 3D-Gewirken sind notwendige Maßnahmen ergriffen worden, die über die Verarbeitungsverhältnisse unter produktionstypischen Voraussetzungen und Bedingungen deutlich hinausgehen. Die Inanspruchnahme produktiver Verfahrenstechnik innerhalb textiler Großserienproduktion birgt einerseits das latente Risiko nachhaltiger Beeinträchtigung bzw. Beschädigung der eingesetzten Produktionsmittel, kann andererseits die avisierte Verwirklichung der anwendungsorientierten Produktideen zu „Wearables“ bei

erfolgreicher Umsetzung der FuE-Maßnahmen dagegen auf ein hierfür erforderliches Niveau der wirtschaftlichen Machbarkeit heben. Die Fokussierung auf textile Basiskonstruktionen, deren Charakteristika realen Serienprodukten nah kommen, erlaubte eine stringente Konzentration auf die zusätzlich hierfür notwendigen Mittel und Methoden. Die Angemessenheit der geleisteten Arbeiten in Kooperation mit den Verbundpartnern wird maßgeblich dadurch belegt, dass für sämtliche Kombinationen von Materialauswahl und Prozessgestaltung im Rahmen des Teilprojektes 3 die Integration der besonderen Funktionsmaterialien in weiten Teilen erfolgreich absolviert und zu Funktionsdemonstratoren überführt wurden.

5.3 Nutzen und Verwertbarkeit des Vorhabens

Nutzen und Verwertbarkeit gliedern sich mindestens in vier Ebenen auf:

- unternehmensinterner fertigungs- und anwendungstechnischer Know-how-Gewinn auf dem Gebiet elektrisch/elektronisch/elektrotechnisch zu funktionalisierender Abstandsgewirke,
- kostenspezifische, wirtschaftliche Bewertbarkeit der funktionalen Erzeugnisstrukturen zur Ermittlung tragfähiger Produktpreise und Beurteilung ihrer Wettbewebsfähigkeit,
- Intensivierung partnerschaftlich-kooperativer Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auf Basis fach- und sachgerechter Leistungskopplung innerhalb der textilen Wertschöpfungskette unter besonderer Einbeziehung wissenschaftlich-technischer Kompetenzen und
- Zugewinn von Erfahrungen und Wissen infolge verstärkter Kontakte zu Unternehmen mit anwendungsspezifischen Produkt- und Leistungsangeboten außerhalb der bekannten und traditionell bedienten Kundenkreise.

In Zusammenfassung dieser Merkmale sieht sich die Pressless GmbH in die Lage versetzt, über seinen allgemein üblichen, etablierten Produkt- und Leistungsanspruch hinaus mit Unternehmen in Akquise und Angebotsunterbreitung zu treten und gemeinsam mit Produzenten innovative Erzeugnisse zur Umsetzung und marktwirtschaftlichen Durchsetzung zu führen, in denen aufbauend auf modernen und komfortablen textilen Strukturen spezifische elektrische/elektrotechnische Funktionaltäten implementiert sind.

5.4 Fortschritt auf dem Gebiet seitens Dritter

Im Verlauf des Vorhabens sind dem Fördermittelempfänger auf dem Gebiet der Verarbeitung niedrigohmiger elektrischer Leiter unter Anwendung der 3D-Wirktechnologie keine ähnlichen oder vergleichbaren Entwicklungsfortschritte bekannt geworden. Dies kann unter anderem der Tatsache geschuldet sein, dass es sich einerseits um ein junges Technologiefeld handelt, andererseits in solchen Kombinationen mit anwendungsnahen Produktauslegungen und -entwicklungen in diesem Segment umso mehr Neuland beschritten wird.

5.5 Veröffentlichungen zu Ergebnissen des Vorhabens

Regionale Unternehmen machen Textilien schlau; „hERZwerk“, das Wirtschaftsmagazin, herausgegeben von der Wirtschaftsförderung Erzgebirge GmbH; Mai 2021
Wearables mit Tragekomfort – geht das?; textile network; https://textile-network.de:443/de/Technische-Textilien/Wearables-mit-Tragekomfort-geht-das
SmartERZ : Knittronic macht Textilien schlau; nonwovensTRENDS; https://www.textiletechnology.net/melliand/trendreports/SmartERZ%20Knittronic%20macht%20Textilien%20schlau-30493
Knittronic macht Textilien schlau; Textile Technology Online;https://www.textiletechnology.net:443/melliand/trendreports/SmartERZ%20Knittronic%20macht%20Textilien%20schlau-30493
Regionale Unternehmen machen Textilien schlau
https://www.iinews.de/regionale-unternehmen-machen-textilien-schlau-1904964.html
https://www.industrietreff.de/herstellernews1904964.html
https://www.firmenpresse.de/pressinfo1904964/regionale-unternehmen-machen-textilien-schlau.html
http://www.imittelstand.de/themen/presse.html?boxid=1060972
http://www.ititpro.com/presse-1060972-detail.html
https://www.presse-blog.com/2021/05/27/regionale-unternehmen-machen-textilien-schlau/
https://www.technologiebox.de/2021/05/27/regionale-unternehmen-machen-textilien-schlau/
https://www.deutscherpresseindex.de/2021/05/27/regionale-unternehmen-machen-textilien-schlau/
https://www.industriebox.de/2021/05/27/regionale-unternehmen-machen-textilien-schlau/
https://www.mynewschannel.net/2021/05/regionale-unternehmen-machen-textilien-schlau/
https://www.it-it-prof.de/2021/05/27/regionale-unternehmen-machen-textilien-schlau/
https://www.immittelstand.de/2021/05/27/regionale-unternehmen-machen-textilien-schlau/
https://www.pressebox.de/inaktiv/buendniskoordinator-smarterz-wirtschaftsfoerderung-erzgebirge-gmbh/Regionale-Unternehmen-machen-Textilien-schlau/boxid/1060972
https://www.klamm.de/news/regionale-unternehmen-machen-textilien-schlau-4N1060972.html
https://www.internet-intelligenz.de/fachartikel1904964.html
Zimmermann, Y. et al.: Knittronic – smart electronic textile substrates based on knitwear as a basis for stretchable electronic circuits; Aachen-Dresden-Denkendorf ITC 2023; in Dresden; Posterbeitrag
Zimmermann,Y. , Helbig, F.: Smart electronic textile substrates based on knitwear as a basis for stretchable electronic circuits; Aachen Dresden Denkendorf International Textile Conference, Stuttgart, 22.11.2024