

Entwicklung einer Webtechnologie zur integralen Fertigung von Vlies-Thermogeweben mit Heizfunktion (Vlies-Thermogewebe)

AutorInnen: Pilgrim, J.; Koch, F.; Mersch, J.; Sennewald, C.; Cherif, C.

*Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM),
TU Dresden*

Zusammenfassung

Im IGF-Vorhaben 01IF22817N wurde eine neuartige Webtechnologie zur integralen Fertigung von hocheffizienten Vlies-Thermogeweben mit integrierter Heizfunktion entwickelt. Ziel des Vorhabens war die Überwindung der technologischen Nachteile konventioneller Steppstrukturen, wie das Auftreten von Kältebrücken an Nahtstellen und der hohe Fertigungsaufwand durch mehrstufige Prozessketten. Kerninnovation ist ein modular nachrüstbares Zusatzsystem, das erstmals die automatisierte Inline-Vorbereitung (Schneiden, Fügen, Fördern) und prozesssichere Integration voluminöser Vliesstoffstreifen als Schussmaterial auf Greiferwebmaschinen ermöglicht.

Um die beim Schusseintrag wirkenden Trägheitskräfte aufzunehmen, wird der Vliesstoff mittels Ultraschallschweißen stoffschlüssig mit einem lasttragenden Hilfsfaden verbunden. Auf Grundlage validierter Matlab-FEM-Simulationen wurde eine mehrlagige, versetzt gekammerte Struktur entwickelt, welche die Durchgängigkeit der Isolationschicht sicherstellt und Wärmeleitpfade minimiert. Die Jacquard-basierte Fertigung erlaubt dabei die unsichtbare Integration von Heizstrukturen und Bindekettfäden in die Decklagen durch den gezielten Einsatz komplementärer Bindungstechniken.

Die Validierung anhand von Funktionsmustern belegt eine signifikante Steigerung der Isolationswirkung um 33,9 % im Vergleich zu herkömmlichen Steppstrukturen. Die Temperaturhomogenität an der Oberfläche wurde drastisch verbessert, wobei die Temperaturspannweite von 12,6 K auf unter 4 K sank. Die entwickelte Technologie bietet ein erhebliches Potenzial für die wirtschaftliche Herstellung hochfunktionaler Isolationsmaterialien für den Sport-, Outdoor- und Fahrzeugbereich.

Bericht

An ITM erfolgte im IGF-Projekt 01IF22817N (Vlies-Thermogewebe) die komplexe Struktur- und Bindungsentwicklung integral gewebter Isolationsstrukturen mit hoher Designfreiheit und maximiertem eingeschlossenen Luftvolumen sowie die dafür notwendige Vorbereitungs- und Zuführanlage zur Bereitstellung der in Schussrichtung eingetragenen Vliesstoffstreifen.

Einleitung

Isolationsstrukturen sind vor allem im Bekleidungsbereich in Form von Produkten für den Sport- und Outdoorbereich präsent und stellen die Grundlage für viele Aktivitäten im Freizeitbereich dar. Mit einem hohen Anspruch an Komfort und Isolationsvermögen sind Endverbraucher bereit, für Funktionskleidung zum Wandern, Skifahren oder Reiten einen entsprechenden Preis zu zahlen, wodurch diese Branche in Deutschland im Vergleich zu anderen Bekleidungsprodukten für das Gesamtmarktergebnis relevant ist [1]. Auch in technischeren Branchen wie der Automobilbranche spielen solche Strukturen in Form von Dach- oder Fahrerinnenkabinenisolationen eine wichtige Rolle. Die im Bekleidungsbereich dominierende Standardbauweise für voluminöse Wärmeisolation stellen

gesteppte Strukturen dar, die eine vielgliedrige Prozesskette durchlaufen (Herstellung der Dämm-/Ober-/Futterstoffe, Textildruck/Veredlung, Steppprozess, Konfektionierung) [2]. Sie beinhalten jedoch einen strukturellen Nachteil, durch den das Isolationspotenzial der Einzelkomponenten nicht voll ausgeschöpft werden kann. Durch die eingebrachten Steppnähte, die die Integrität der Gesamtstruktur herstellen, entstehen komprimierte Bereiche, die aufgrund der Gesetzmäßigkeiten der Wärmeübertragung, das Gesamtisoliationsvermögen herabsetzen. In Abhängigkeit der Nahtdichte erhöht sich der Wärmedurchgangskoeffizient um bis zu 40 % [3]. Dieser Verlust wird mit erhöhtem Materialeinsatz kompensiert. Darüber hinaus induzieren Steppnähte optische Unterbrechungen, verteilt über die Fläche. Diese Unterbrechungen beschränkten die Designfreiheit und Individualisierbarkeit erheblich. Verschiedene Verfahren wie das Abstandssteppen versuchen durch Reduktion der Fadenspannung im Steppprozess und Überbrückung größerer Dicken die Komprimierung der Isolationsschicht zu reduzieren, wodurch jedoch lediglich eine Reduktion des Wärmedurchgangskoeffizienten um 10-14 % möglich ist [4]. Darüber hinaus finden optische Ansprüche hier keinerlei Beachtung. Zur Verbesserung der Isolationsleistung, der Erweiterung der Designfreiheit und der Reduktion aufwendiger Prozessschritte, wurden im durchgeführten Vorhaben Strukturaufbau und Fertigung von Isolationsstrukturen neu gedacht. Durch einen integralen Webprozess, der die Verarbeitung aller relevanten Materialien erlaubt, und einem Aufbau und Fadenverlauf, der zum einen die Strukturintegrität erhält, zum anderen aber auch Freiheiten zur optisch ansprechenden und individuellen Gestaltung ermöglicht, ist es gelungen, den Wärmedurchgangskoeffizienten signifikant zu verringern und die Leistungsfähigkeit von Isolationsstrukturen zu verbessern.

Zielsetzung und Lösungsweg

Ziel des Vorhabens war die simulationsgestützte Auslegung und Entwicklung gekammerter Isolationsstrukturen mit einem entsprechend weiterentwickelten Webprozess, der die Inline-Integration isolationswirksamer Vliesstoffstreifen nahezu ohne dauerhafte Strukturdeformation ermöglicht und gleichzeitig eine textile Heizstruktur webtechnisch zu integrieren. Zur Erreichung der Zielstellung wurde zunächst eine thermodynamische Auslegung zugrunde gelegt, aus der sich Anordnung der Fadensysteme und geometrische Gestaltung der Einheitszellen ableiten ließen. Auf diese Weise konnten thermische Pfade nachvollzogen werden und die Isolationskammern so gestaltet werden, dass die Vliesstoffstreifen möglichst unkomprimiert im Innern vorlagen (Abbildung 1). Es wurde eine Prozesskette zur Bindungsentwicklung erarbeitet, die es ermöglicht, die Decklagen im Prozess durch Jacquardbindung zu Mustern und gleichzeitig die Führung der Bindekette zur Verbindung der Lagen sicherstellte. Bindungstechnisch wurde den weiteren Lösungen zur optisch ansprechenden Anbindung der Bindekette an die Decklagen sowie der von außen nicht sichtbaren Heizstruktur entwickelt.

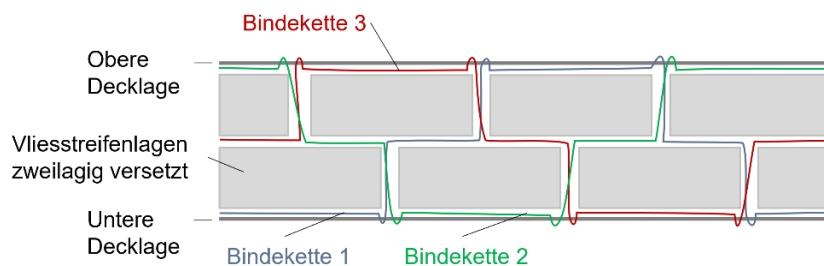


Abbildung 1: Schematische Darstellung der gekammerten Isolationsstruktur im Schnitt entlang der Kette

Zur Integration der in Schussrichtung verlaufenden Vliesstoffstreifen, wurde eine Vorbereitungs- und Zuführanlage in modularer Bauweise entwickelt, die es erlaubt, den als Rollenware bereitgestellten

Vliesstoff in Streifen mit der Kammergeometrie entsprechenden Maßen zu schneiden, entsprechend der im Eintragsprozess wirkenden Zugbelastungen zu modifizieren und anschließend dem Greifer zum Eintrag in das Webfach vorzulegen. Die Validierung der hergestellten Funktionsmuster und des Demonstrators erfolgte Qualitativ anhand optischer Kriterien sowie der Identifikation thermischer Brücken durch Infrarot-Aufnahmen. Mittels Guarded-Hot-Plate-Verfahren wurde der Wärmedurchgangskoeffizient ermittelt und im Vergleich zur gesteppten Referenzstruktur quantitativ bewertet. Die entwickelten Strukturen konnten erfolgreich auf der um die modulare Vorbereitungsanlage ergänzten Jacquard-Greiferwebmaschine umgesetzt werden.

Ergebnisse

Prozesskette zur integralen Fertigung von Vlies-Thermogeweben

Die integrale Herstellung von hocheffizienten Vlies-Thermogeweben basiert auf einem neuartigen Ansatz, der die bisher getrennten Prozessschritte der Gewebeherstellung der Isolationseinbringung (Steppen) und der Funktionsintegration (Heizung) in einem einzigen, automatisierten Webprozess vereint. Die am ITM entwickelte Prozesskette ermöglicht dabei die Fertigung komplexer, mehrlagig gekammerter Strukturen mit verbesserten thermodynamischen Eigenschaften bei gleichzeitiger hoher gestalterischer Freiheit. Der vollständige Entwicklungsprozess beginnt mit der Präzisierung der Anforderungen, wobei Materialparameter wie Garnfeinheit und Dämmstoffcharakteristika sowie Zielwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten und die Heizleistung definiert werden. Auf dieser Grundlage erfolgt die simulationsgestützte thermodynamische Auslegung mittels eines FEM-Wärmeleitungsmodells in Matlab. Dieses Modell erlaubt es, die ideale geometrische Anordnung der Schichten, beispielsweise eine versetzt gekammerte Struktur zur Minimierung von Kältebrücken, sowie die optimale Positionierung der Heizstrukturen vorab zu bestimmen.

Die Struktur- und Bindungsentwicklung wird digital unter Verwendung einer spezialisierten Software (EAT DesignScope Victor) durchgeführt. Hierbei wird die Gesamtstruktur in funktionale Bereiche (Rand, Musterlagen, Bindekette) unterteilt und ein entsprechendes Farbbild erstellt. Die technologische Herausforderung besteht darin, die Bindungskombinationen der oberen und unteren Lage so mit den Bindekettverläufen zu synchronisieren, dass stabile Kammern für die Vliesstoffstreifen entstehen. Durch die Verwendung komplementärer Bindungen können dabei die Anbindestellen der Bindekette in den Decklagen sowie die integrierten Heizfäden auf der Außenseite optisch kaschiert werden.

Ein zentrales Element der Prozesskette ist die automatisierte Inline-Vorbereitung des Dämmstoffs. Der als Rollenware vorliegende Vliesstoff wird hierbei prozesssynchron längs geschnitten, abgelängt und mittels Ultraschallschweißen stoffschlüssig mit einem lasttragen Hilfsfaden verbunden. Diese Ertüchtigung ist essenziell, um die beim Schusseintrag auf der Greiferwebmaschine wirkenden Trägheitskräfte sicher aufzunehmen und eine plastische Deformation des Vliesmaterials zu verhindern. Im eigentlichen integralen Webprozess werden alle Komponenten, die Decklagen, die Bindekette die vorkonfektionierten Vliesstreifen und die Heizgarne, zusammengeführt. Durch eine präzise Steuerung der Webmaschinenparameter, insbesondere die Abstimmung der Fachschlusszeitpunkte und des Litzenhubs, wird eine komprimierungsarme Integration des hochvoluminösen Vliesstoffes in die Gewebekammern sichergestellt.

Simulationsgestützte thermodynamische Auslegung der Strukturen

Für die Entwicklung hocheffizienter Vlies-Thermogewebe ist eine präzise thermodynamische Auslegung der mehrlagigen, versetzt gekammerten Strukturen erforderlich. Ziel der Simulation war die Bestimmung des Wärmedurchgangs und der Heizleistung unter Berücksichtigung der komplexen Materialinteraktionen. Hierzu wurde ein zweidimensionales, stationäres FEM-Wärmeleitungsmodell

in Matlab unter Verwendung der PDE Toolbox umgesetzt. Grundlage des Modells ist die stationäre Wärmeleitungsgleichung $\nabla \cdot (\lambda \nabla T) = 0$, wobei den geometrisch definierten Teilflächen für Vlies-, Deck- und Bindungsbereiche ihre spezifischen materialabhängigen Wärmeleitfähigkeiten λ zugewiesen wurden.

Die zentrale Randbedingung der Simulation bestand darin, die geometrische Anordnung der Schichten und die Positionierung der Heizstruktur so zu gestalten, dass Wärmeverluste minimiert und eine hohe Temperaturhomogenität an der Oberfläche erreicht wird. Mittels des Fourier'schen Gesetzes wurde der lokale Wärmestrom bestimmt und daraus der effektive Wärmedurchgangskoeffizient U über die Breite der Einheitszelle berechnet. Die Matlab-basierte Simulationslösung ist dabei voll parametrisch aufgebaut, sodass Schichtdicken, Kammerbreiten sowie die Anzahl und die versetzte Anordnung der Dämmstofflagen effizient variiert und verglichen werden konnten.

Die numerischen Untersuchungen zeigten deutlich, dass die Wärmeleitung bei herkömmlichen Strukturen vorwiegend über die Bindungsbereiche stattfindet, was zu inhomogenen Temperaturverteilungen führt. Durch die simulationsgestützte, versetzte Anordnung der Vliesstoffkammern konnten diese direkten Wärmeleitpfade effektiv unterbrochen und „Kältebrücken“ minimiert werden.

Zur Validierung des Modells wurden die experimentell ermittelten Wärmewiderstände der Funktionsmuster systematisch mit den berechneten Werten verglichen. Durch die Identifikation und iterative Anpassung von struktur- und fertigungsbedingten Einflüssen, insbesondere hinsichtlich Schichtkontakt und Kompressionseffekten, wurde eine hohe Modellgüte mit einer maximalen Abweichung von lediglich 2 % erreicht. Als validierte Vorzugslösung wurde eine zweilagig zueinander versetzte Anordnung der Vliesstoffstreifen identifiziert, die als Grundlage für die bindungstechnische Umsetzung diente.

Struktur- und Bindungsentwicklung für mehrlagige gekammerte Gewebe

Die Überführung der thermodynamischen Anforderungen in eine webtechnisch umsetzbare Struktur erfolgte durch eine systematische Einteilung der Fadensysteme und die Entwicklung einer modularen Bindungssystematik. In der Bindungssoftware EAT DesignScope Victor wurde ein Farbbild erstellt, das in Funktionsbereich unterteilt als Grundlage für die Zuordnung der komplexen Mehrlagengewebefbindungen diente.

Für die Entwicklung der Isolationsstrukturen wurden insgesamt 5172 Kettfäden auf zwei separaten Kettbäumen bereitgestellt und den jeweiligen Lagen zugeordnet (Abbildung 2). Die Gesamtbreite des Gewebes wurde konsequent in vier Funktionsbereiche unterteilt: den Randbereich zur Stabilisierung der Gewebekante und Einbindung der Schussfadenenden, die Musterbereiche für die obere und untere Gewebelage sowie die Bindekettbereiche für die Verbindung der Lagen und Positionierung dieser zueinander. Diese blockweise Organisation ermöglichte eine modulare Anpassung von Design und Bindekettverläufen, ohne den Gesamtprozess zur Erstellung der Maschinensteuerdatei für die Jacquardmaschine neu durchlaufen zu müssen.

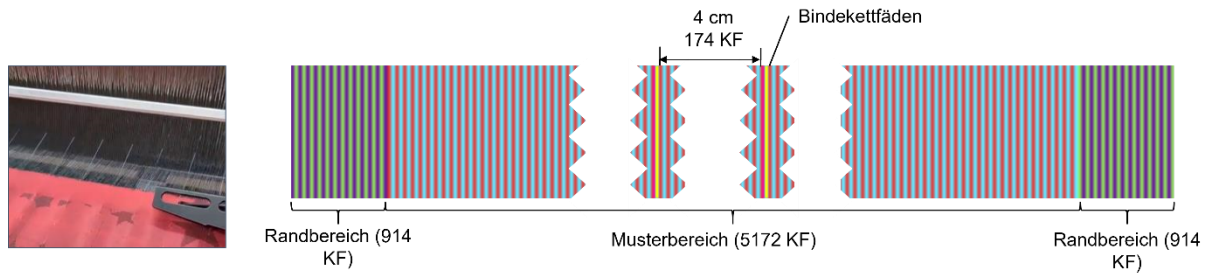


Abbildung 2: Bindekettfadenpaare in Hochfachposition (links) und Kettfadeneinzugsplan mit Lagenaufteilung und Bindekette (obere Lage – ungerade Litzennummer: Grün, Blau, Gelb; untere Lage – gerade Litzennummer: Lila, Rot, Pink) (rechts)

Ein zentrales Element der Bindungsentwicklung war die Gestaltung der Bindekettfadenverläufe, welche die strukturelle Verbindung der Lagen sowie die Ausbildung der Kammern zur Vliesintegration gewährleisten. Die Bindekette wurde aufgrund der hohen Einarbeitung separat vom Gatter zugeführt und in einem Abstand von 4 cm paarweise angeordnet, was der angestrebten Breite der Vliesstoffstreifen entspricht.

Als Vorzugslösung zur Minimierung von Kältebrücken wurde eine zweilagig versetzt gekammerte Anordnung der Dämmstofflagen entwickelt. Dies erforderte eine abgewandelte Bindekettführung, bei der die Fäden je nach Position im Gewebe oberhalb, zwischen oder unterhalb der Vliesstofflagen verlaufen. Durch systematische Variation der Anbindungsgebiete konnten Oberflächenunregelmäßigkeiten, wie die Auslenkung von Schussfäden in z-Richtung, minimiert werden (Abbildung 3).

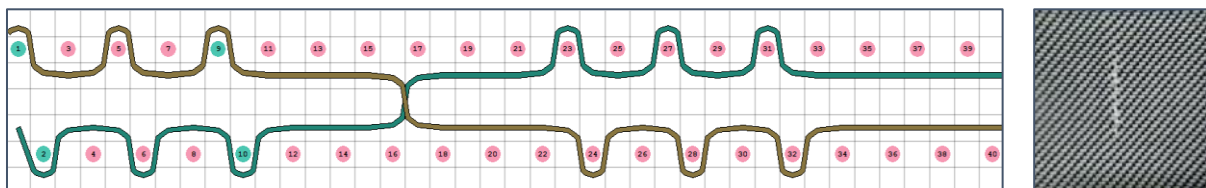


Abbildung 3: Vorzugslösung der Bindekettfadenanbindungen an die Deckflächen im Schnitt entlang der Kette (grün/pink: Schussfäden im Schnitt; dunkelgrün/braun: paarweise Bindekettfäden) und Erscheinungsbild im Gewebe (rechts)

Um den hohen gestalterischen Anforderungen im Sport- und Outdoorbereich gerecht zu werden, wurde eine Strategie zur optischen Kaschierung der Funktionskomponenten umgesetzt. Durch den gezielten Einsatz von Bindungen mit Flottierungen, wie beispielsweise Atlas 4-1, konnten die Anbindestellen der Bindekette effizient überdeckt werden, da sich die umliegenden Kettfäden aufgrund der langen Flottierungen längs ausrichten und die Bindepunkte verdecken.

Zur Integration der Heizstruktur wurde mit komplementären Bindungen gearbeitet (Abbildung 4). Die leitfähigen Heizfäden wurden an der Innenseite der körperzugewandten Decklage angebunden. Durch die Verwendung gegengleicher Körperbindungen (z. B. Körper 3-1 für die Heizfäden und Körper 1-3 für die Decklage) schieben sich die flottierenden Schussfäden der Decklage über die Bindungspunkte, wodurch die Heizfunktion von der Außenseite unter die Schussfäden der Decklagen geschoben werden.

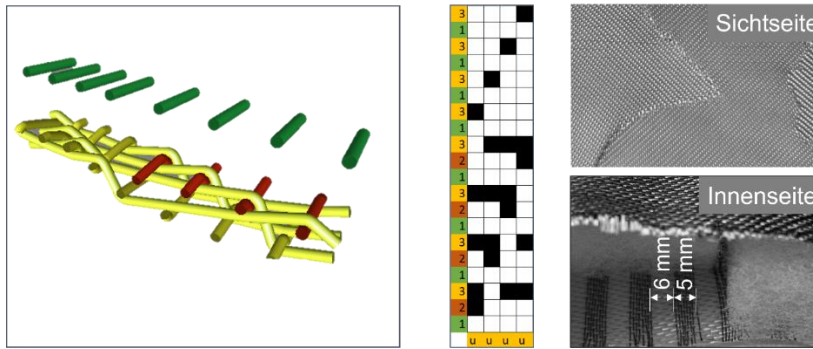


Abbildung 4: Prinzip komplementärer Bindungen zur Kaschierung von Funktionsfäden (links: Entwickelte Fadenverläufe mit Funktionsfäden in Rot; Mitte: Abgeleitete Bindungsspatrone; rechts: Umgesetzte Struktur mit Sichtseite und Innenseite)

Die entwickelte Bindungssystematik wurde in vier Funktionsmustern validiert, die von einlagigen Strukturen bis hin zu komplexen, unabhängig gemusterten Decklagen mit versetzter Anordnung der Vliesstreifen und integrierter Heizstruktur reichen. Die erfolgreiche Überführung dieser komplexen Bindungen in maschinenlesbare Datensätze bildete die Grundlage für die prozessstabile Inline-Fertigung der hocheffizienten Thermostrukturen.

Konstruktiv-technologische Entwicklung des Moduls zur Vlies-Integration

Ziel der konstruktiven Entwicklung war die Realisierung einer modularen Gesamtanlage zur automatisierten Inline-Integration von Vliesstoffstreifen in die gekammerten Gewebestrukturen. Es erfolgte ein systematischer Entwicklungsprozess für die Auslegung gemäß VDI 2221/2222 auf Basis einer detaillierten Bauraumanalyse der Greiferwebmaschinenperipherie sowie der Analyse der Webfachgeometrie. Letztere war entscheidend, um die maximal zulässigen Querschnitte der Vliesstreifen zu definieren und Kollisionen mit dem Greifersystem oder dem Webblatt sicher auszuschließen.

Die Gesamtanlage wurde in funktionale Unterbaugruppen unterteilt, welche die Teilprozesse Fördern, Trennen, Fügen sowie Vorlegen und Eintrag prozesssynchron abbilden. Für das Trennen der Vliesstoff-Rollenware in prozessgerechte Streifenbreiten wurde das Rundmesser als Vorzugslösung identifiziert, da es im Gegensatz zu Scheren oder Ultraschallschneidverfahren keine dauerhafte Kompaktierung der Kanten verursacht und somit die thermische Isolationswirkung im Gewebe vollständig erhält. Das Ablängen auf die erforderliche Webbreite erfolgt mittels eines speziellen Fallmessers, das durch einen spitzen Anschnitt den Eintritt des voluminösen Streifens in das Webfach erleichtert.

Ein technologisches Kernstück des Moduls ist Ertüchtigung des Vliesstoffs. Um die beim Schusseintrag wirkenden Trägheitskräfte bei Maschinendrehzahlen bis 200 rpm sicher aufzunehmen, wird ein lasttragender Hilfsfaden mittels Ultraschallschweißen stoffschlüssig mit dem Vliesstoff verbunden. Diese Einheit wurde konstruktiv so gestaltet, dass der gefügte Vliesstoff-Faden-Verbund anschließend in einem Speicherkasten mäanderförmig abgelegt wird. Dies ermöglicht einen nahezu widerstandsfreien Abzug während des Schusseintrags und minimiert die ruckartige mechanische Belastung der Schweißstelle.

Für die präzise Übergabe an das Greifersystem wurde der Schussfadenvorleger der Webmaschine durch speziell angepasste Leitelemente modifiziert. Diese stellen sicher, dass der Vliesstoffstreifen verdrehungsfrei geführt und prozesssicher vom Greifer übernommen werden kann.

Technologische Umsetzung und Inline-Fertigung der Funktionsmuster

Die praktische Umsetzung der entwickelten Technologie erfolgte auf einer Greiferwebmaschine (Dornier PTS 4/J) in Kombination mit einer Jacquardmaschine (Stäubli UNIVAL 100), an welche das

Modul zur Vlies-Vorbereitung und -Integration als Zusatzbaugruppe implementiert wurde. Ein wesentlicher Schwerpunkt der technologischen Erprobung lag in der Synchronisation der Teilprozesse sowie der iterativen Optimierung der Webmaschinenparameter, um eine prozessstabile Fertigung der hocheffizienten Thermostrukturen unter industrienahen Bedingungen zu gewährleisten.

Um die Bindungsstrukturen mit den voluminösen Vliesstoffstreifen fehlerfrei umzusetzen, war eine präzise Abstimmung der Kettfadenzugkräfte und der Fachgeometrie erforderlich. Aufgrund der hohen Einarbeitung der Bindekette wurde diese mit minimaler Spannung direkt von Spulen aus einem Gatter zugeführt. Technologische Untersuchungen zeigten, dass eine zu hohe Spannung der Bindekettfäden zu einer lokalen Kompression des Dämmstoffs führt, was die thermische Isolationswirkung beeinträchtigt. Als Vorzugseinstellung wurde daher eine Bindekettfadenzugkraft definiert, die eine stabile Fachöffnung bei gleichzeitig geringster Kompressionswirkung sicherstellt.

Ein entscheidender Faktor für den fehlerfreien Schusseintrag des Vlies-Faden-Verbundes war die Anpassung der Fachschlusszeitpunkte. Während für die Randbereiche ein vorverlegter Fachschluss gewählt wurde, um die Schussfadeneinbindefestigkeit zu erhöhen, wurde der Fachschluss der Bindekette gezielt nach hinten verlegt. Diese Konfiguration verhindert, dass der voluminöse Vliesstreifen die Kettfäden während des Eintrags aufgrund einsetzender Fachbewegungen auslenkt und somit die Struktur verzerrt. Zudem wurde der Litzenhub auf das technologisch notwendige Minimum eingestellt, um mechanische Schädigungen der Kettfäden durch Reibung mit dem Vliesstoff zu vermeiden.

Mit der erfolgreichen Inbetriebnahme der Gesamtanlage konnte der technologische Nachweis erbracht werden, dass die automatisierte Inline-Integration von hocheffizienten Dämmstoffen in integrale Gewebestrukturen prozesssicher möglich ist und die theoretisch ermittelten Strukturvorgaben präzise in physische Funktionsmuster überführt werden können (Abbildung 5).

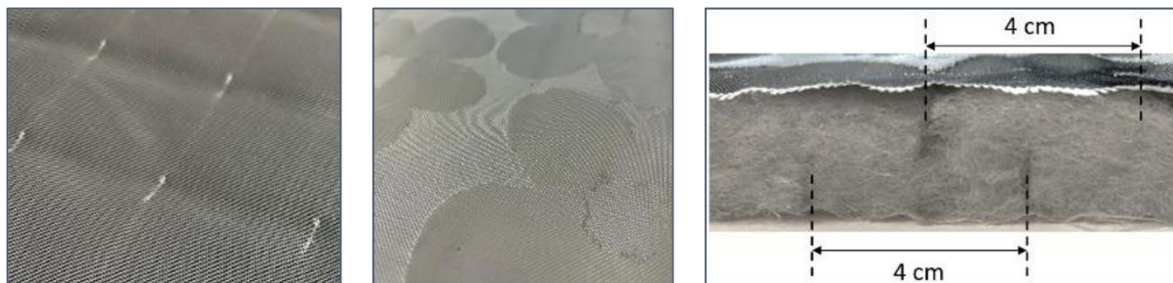


Abbildung 5: Warenbild der einlagigen (links) und zweilagigen (Mitte) Struktur sowie zweilagig versetzt angeordnete Vliesstoffstreifen im Querschnitt (rechts)

Thermodynamische und textilphysikalische Validierung der Ergebnisse

Die abschließende Bewertung der Projektergebnisse erfolgte durch eine umfassende Charakterisierung der thermischen und mechanischen Eigenschaften der entwickelten Vlies-Thermostrukturen im Vergleich zum Stand der Technik. Hierzu wurden systematische Untersuchungen am Guarded-Hot-Plate-Messstand (in Anlehnung an DIN EN 12667) sowie mittels Infrarotthermografie durchgeführt.

Ein zentrales Ziel war die Reduktion des Wärmedurchgangskoeffizienten sowie die Verbesserung der Temperaturhomogenität an der Oberfläche durch die Eliminierung strukturell bedingter Kältebrücken. Die Messergebnisse zeigen, dass die kontinuierliche Dicke der Vliesstruktur nahezu ohne Komprimierung sowie die versetzte Anordnung der Lagen zu einer signifikanten Isolationsverbesserung führen. Während für eine konventionell gesteppte Vergleichsstruktur ein Wärmedurchgangskoeffizient von $\lambda=0,056 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ermittelt wurde, konnte dieser Wert durch die

versetzt zweilagige Vliesanordnung auf $\lambda=0,037 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ reduziert werden. Dies entspricht einer Verbesserung um 33,9 %.

Die thermografische Analyse bestätigte zudem die hohe Temperaturhomogenität der entwickelten Strukturen. Während die gesteppte Referenzstruktur aufgrund lokaler Verdichtungen an den Nähten eine Temperaturspannweite von 12,6 K aufwies, konnte diese bei der versetzt gekammerten Vliesstruktur auf 3,5 K gesenkt werden.

Neben der thermischen Performance wurden die mechanischen Kennwerte auf Material- und Strukturebene evaluiert. Zusammenfassend bestätigen die Validierungsergebnisse, dass die entwickelten Vlies-Thermogewebe den konventionellen Steppsystemen sowohl energetisch als auch hinsichtlich ihrer mechanischen Gebrauchseigenschaften und Prozessstabilität überlegen sind.

Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine neuartige Webtechnologie zur integralen Fertigung von hocheffizienten Vlies-Thermogeweben mit integrierter Heizfunktion entwickelt. Ziel war die Überwindung der technologischen Nachteile konventionell gesteppter Isolationsstrukturen, wie das Auftreten von Kältebrücken an den Nahtstellen und der hohe Aufwand durch mehrstufige Fertigungsprozesse durch Entwicklung einer integralen Prozesskette (Abbildung 6).

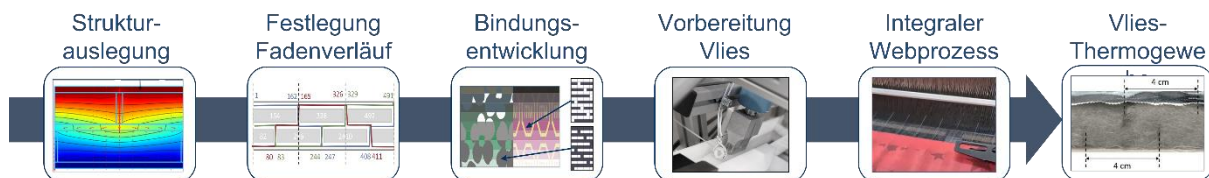


Abbildung 6: Prozesskette zur Entwicklung gekammelter Mehrlagenstrukturen für Isolationsanwendungen

Kern der Innovation ist ein modular nachrüstbares Zusatzsystem zur Inline-Vorbereitung und Integration von Vliesstoffstreifen. Dieses Modul ermöglicht es, hocheffiziente Dämmstoffe prozesssynchron längs zu schneiden, abzulängen und durch eine stoffschlüssige Verbindung mit einem lasttragenden Hilfsfaden (mittels Ultraschallschweißen) so zu ertüchtigen, dass sie als Schussmaterial auf Greiferwebmaschinen verarbeitet werden können.

Auf Basis simulationsgestützter thermodynamischer Auslegungen mittels eines validierten Matlab-FEM-Modells wurden mehrlagige Gewebestrukturen mit versetzt angeordneten Kammern entwickelt. Durch diese spezielle Anordnung konnten strukturbedingte Kältebrücken effektiv minimiert werden. Die technologische Umsetzung erfolgte an einer Jacquard-Webmaschine, wobei durch den Einsatz komplementärer Bindungen sowohl die Bindekettenbindungen als auch die integrierten Heizstrukturen auf der Gewebeaußenseite optisch unsichtbar kaschiert wurden.

Die Validierung anhand von Funktionsmustern und eines Westendemonstrators belegt eine signifikante Steigerung der Isolationswirkung um 33,9 % gegenüber dem Stand der Technik ($\lambda=0,037$ vs. $0,056 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$). Gleichzeitig wurde die Temperaturhomogenität verbessert, wobei die Temperaturspannweite auf der Oberfläche von 12,6 K (Referenzstruktur) auf unter 4 K sank.

Die entwickelte Technologie ist aufgrund des modularen Aufbaus und bereitgestellter Handlungsanweisungen insbesondere für KMU im Sport-, Outdoor- und Automobilbereich unmittelbar skalierbar und industriell umsetzbar.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 01IF22817N der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Textil e.V., Wallstraße 58/59, 10179 Berlin, wurde über das DLR im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Projektträger für das



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Die Autoren danken den genannten Institutionen für die Bereitstellung der finanziellen Mittel. Der Forschungsbericht und weiterführende Informationen sind am Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik der TU Dresden erhältlich.

Kontakt: jasmin.pilgrim@tu-dresden.de

<https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/itm>

Technische Universität Dresden

Fakultät Maschinenwesen

Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM)

01062 Dresden

Literatur

- [1] MOUWITZ, P.; LARSSON, J.; PETERSON, J.: *Beyond mass customisation : Mass individualisation*. AUTEX 2009 World Textile Conference, İzmir, Turkey,
- [2] YU, W.; WANG, L.; LIU, H.; RODRIGUE, D.; DU, Z.; YU, W.; WANG, X.: *Optimization of the quilting method and filling quality of cold-proof down clothing based on thermal insulation performance*. Textile Research Journal 93(2023)21-22, S. 5007-5016
- [3] AN, Y.-Y.; TU, L.-X.; SHEN, H.; XU, G.-B.; ZHANG, G.-R.; ZHU, H.-Q.; WANG, H.-C.: *Numerical simulation and validation on heat transfer of four structures of sleeping bag*. International Communications in Heat and Mass Transfer 129(2021), S. 105707 f.
- [4] SAEED, H.; RÖDEL, H.; KRZYWINSKI, S.; HES, L.: *'Spacer stitching', an innovative material feeding technology for improved thermal resistance*. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 254(2017)13, S. 132004 f.