

Entwicklung eines elastischen Beinmodells zur textilen Produktoptimierung

Zusammenfassung des IGF Forschungsprojekts 01IF23104N

Karl Hesse*¹ , Yordan Kyosev² 

Professur für Entwicklung und Montage von textilen Produkten, Institut für Textilmaschinen und Hochleistungswerkstofftechnik (ITM), Technische Universität Dresden, Deutschland

*E-Mail-Adresse: karl.hesse@tu-dresden.de

INFO

CDATP, ISSN 2701-939X
Communication
2026, Vol. 7, pp. 68-75
<https://doi.org/10.25367/cdatp.v7.a246>
Received: 25 June 2026
Accepted: 25 June 2026
Available online: 29 June 2026

Übersetzung auf Deutsch

Keywords

Kompression, Kompressionsstrümpfe,
Produktentwicklung,
Druckmessung,
Qualitätssicherung,
Weichteile, Elastizität

ABSTRACT

Die Entwicklung moderner Kompressionsprodukte ist mit der Bewertung der geeigneten Produktform, des richtigen medizinischen oder sportlichen Drucks sowie der Gewährleistung eines akzeptablen Tragekomforts verbunden. Im Rahmen des Forschungsprojekts „Elastisches Beinmodell“ wurde ein neuartiges System zur Bewertung all dieser Parameter entwickelt. Diese Arbeit präsentiert eine Zusammenfassung der Ergebnisse dieses Projekts.

© 2026 The authors. Published in CDATP.

This is an open access article under the CC BY license



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

1 Einführung

Venenerkrankungen, insbesondere im Beinbereich sind in Deutschland eine weit verbreitete Krankheit. Nur 10 % der Bevölkerung zeigen keine Auffälligkeiten und bereits 59 % der Gesamtbevölkerung zeigen optisch wahrnehmbare Indikationen, wie Besenreiser [1]. Über 2,8 Mio. PatientInnen leiden an fortgeschrittenen Stadien und sind u. A. auf konsequente Kompressionstherapie angewiesen. Ein signifikanter Bestandteil dieser ist die Anwendung von medizinischen Stütz- und Kompressionsstrümpfen. Diese unterliegen hohen Funktions- und Qualitätsstandards, wie der DIN 58133 und der RAL GZ 387. Neben dem funktionalen Aspekt ist der Komfort in der Anwendung ein zentrales Kriterium für die Adoptionsrate und dem sachgemäßen Tragen der Strumpfwaren und dementsprechend essentiell für den therapeutischen Erfolg. Bisher erfolgt die Erfassung des Komforts häufig über firmenproprietäre Probandentests und nicht in normgerechten Prüfständen. Prüfstandseitig sind Kompressionsmessungen über starre Beingeometrien (MST Professional Mark IV [2]) oder via mehrsegmentierte Zugprüfungen (HOSYcan [3]) Stand der Technik und beschreiben in einer fixierten Position die eingebrachte Kompression entsprechend der Normung. Bewegungseinflüsse, wie Faltenbildung, oder

Komfortparameter sind bisher dadurch nicht erfass- und auswertbar. Insbesondere unter dem Gesichtspunkt zunehmender Anwendung von Kompressionstextilien in der beruflichen Umgebung und im Sportbereich [4] gewinnen eine dynamische Messung sowie eine quantifizierbare Komfortbeurteilung auch im nichtmedizinischen Bereich an Bedeutung. Diese sind unerlässlich, um den erzielbaren Erfolg in der Kompressionstherapie mit den PatientInnen zu gewährleisten, damit die Kompressionstrümpfe nicht nur als medizinische Notwendigkeit, sondern als komfortable Hilfestellung angesehen werden.

2 Stand der Technik

2.1 Internationaler Stand der Technik

Medizinische und nichtmedizinische Kompressionstextilien unterliegen hohen Qualitätsstandards, die bereits während der Produktentwicklung und später im Produktionsprozess sichergestellt werden müssen. Die Überprüfung auf geeigneten Vorrichtungen ist daher unerlässlich. Hierfür ist aktuell das HOSY-Gerät von Hohenstein verbreitet. Der zu prüfende Kompressionsstrumpf wird in die Vorrichtung eingespannt und eine Zugkraft ausgeführt, die dann Rückschlüsse zur Kompressionskraft und dessen Verlauf wiedergeben. Eine Alternative hierzu ist die Vorrichtung von Swisslastic, welche sich an der Norm orientiert (vgl. Abbildung 2). Der zu prüfende Strumpf wird dabei auf ein statisches Beinmodell aufgezogen und mit Hilfe von Drucksensoren werden die Kompression und deren Verlauf gemessen. Die bisherigen Methoden sind statisch und können über den groben Modellcharakter die individuellen Patientenbeine nur sehr aufwendig abbilden. Außer Acht gelassen wird hierbei die Bewegung der Patienten und Patientinnen, die Dynamik in den Gelenken und viele andere Aspekte, wie bspw. das Anziehverhalten. Komfortseitig existiert mit der Gliederpuppe „Sherlock“ ein beingeometrienahes Messgerät für den thermischen Komfort. Ein der Puppe angezogener Strumpf kann in mehreren Positionen getestet werden, da dieses Prüfgerät Bewegungen der Beingelenke zulässt. Diese Messmethode lässt allerdings keine Aussagen über die Kompressionswirkung zu. Zudem geben die Messmethoden keinen Rückschluss auf den ergonomischen Tragekomfort, welcher multifaktoriell ist. Ein weiterer Aspekt bestehender Messmethoden ist die Vernachlässigung der mechanischen Verformung des menschlichen Gewebes infolge der Kompression. Dies bedeutet in der Praxis, dass Kompressionsstrümpfe innerhalb der festgelegten Kompressionsgrenzwerte liegen können, jedoch der eigentliche Tragekomfort des Strumpfes als unangenehm vom Träger empfunden werden kann. Dies führte in der Vergangenheit zu Kundenunzufriedenheit und Reklamationen, z. B. aufgrund einer unbefriedigenden Passform. Ansätze zur Lösung existieren bereits in der Prothetik, welche versucht das menschliche Gewebe und die Haut realistisch nachzubilden, und in der additiven Fertigung von Phantomen mit heterogenen Materialeigenschaften zur Radiologieschulung.

Verschiedene thermophysiologische Untersuchungen für Fußbekleidung, insbesondere im System Schuh/Strumpf wurden mit thermophysiologischen Simulationseinheiten, z. B. SWEATOR und CYBOR durchgeführt. Der menschliche Fuß wird durch einen starren und unbeweglichen Prüfkörper mit perforierter oder semipermeabler Oberfläche abgebildet [5,6]. Die Beaufschlagung des Strumpfes bzw. im System Strumpf/Schuh mit Wärme und Feuchte erfolgt im statischen Zustand. Zur Untersuchung und Bewertung von ergonomischen Aspekten, z. B. Passform und Faltenbildung, die sich erst im bewegten Zustand manifestieren, musste auf verschiedene Probandenversuche mit Tragetests an instrumentierten Probanden im Geh-/Laufversuch sowie Feldstudien mit aufwändigem Versuchsdesign zurückgegriffen werden. Mit zusätzlichen Materialtests konnte ein Zusammenhang zwischen Druckbelastung – Feuchtetransport und Reibungswirkung Haut/Strumpf hergestellt und mit den subjektiven Beurteilungsempfindungen der ProbandInnen zum thermophysiologischen und ergonomischen Effekt abgeglichen werden. Diese Kenntnisse über die an Socken ermittelten Wirkungsmechanismen sind für die geplanten Untersuchungen im Hinblick auf die Positionierung und Integration geeigneter Sensorik, z. B. Temperatur und Feuchte, in dem zu entwickelnden elastischen und beweglichen Beinkörper sehr hilfreich. Mit dem numerischen und realen Simulationsmodell für eine Beinextremität sollen zukünftig Versuche an Socken, Knie- und Beinstrümpfen sowohl im statischen als auch dynamischen Zustand

durchführbar sein, sodass zukünftig der Aufwand für Probandenversuche deutlich reduziert werden kann oder diese gänzlich entfallen können.

2.2 Eigene Vorarbeiten

Die Professur für Entwicklung und Montage von textilen Produkten am ITM besitzt langjährige Erfahrungen, sowohl auf dem Gebiet der beanspruchungsgerechten Verarbeitung von Textilien als auch bei der rein digitalen Produktentwicklung. In umfangreichen Vorarbeiten (z. B. ZIM ZF4008301RP5) wurde die Adhäsion zwischen im FDM-Verfahren gefertigten Elementen und verschiedenen textilen Flächegebilden untersucht. Das abgeschlossene Forschungsprojekt „orthopädischer Hilfsmittel“ (IGF-Nr. 19757 BR [7]) umfasst die Entwicklung neuartiger orthopädischer Hilfsmittel, die mittels Composite Filament Fabrication-Verfahren (CFF) realisiert wurden. Für eine kundenindividuelle Herstellung werden thermoplastische und endlosfaserbasierte Verstärkungen auf Basis von 3D-Körperdaten additiv direkt auf textile Flächen appliziert. Die angestrebten Ziele dabei waren u. a. anforderungsgerecht lokal einstellbare Steifigkeiten/Festigkeiten sowie die Realisierung strukturintegrierter Festkörpergelenke. Es wurde die Prozesskette weiterentwickelt, mit der es möglich ist, CAD- oder Simulations-Datensätze komplexer Formen in Maschinendaten zum Biaxia IFlachstricken zu überführen. Das entwickelte Verfahren bietet durch die Kombination von additiver Fertigung und textilen Materialien ein großes Potenzial für individualisierte Produkte (Losgröße 1).

Es wurden weiterhin Verfahren zur Passform Produktentwicklung für körpernahe Bekleidung, insbesondere Maschenwaren, mit besonderem Fokus auf die Passform unter Berücksichtigung der textilen Materialeigenschaften von Maschenwaren, geschaffen. Dazu wurde ein neuartiger Lösungsansatz entwickelt, den Druck auf die Körperoberfläche zu betrachten, da diese Größe mit der Passform und dem Tragekomfort in unmittelbarem Zusammenhang steht. Zudem wurde ein neues, bisher nicht angewendetes Messprinzip entwickelt und in Form des Spaltzylinder-Messgerätes realisiert. Dies hat den Vorteil, dass es besonders für die Messung von kleinen Drücken zwischen Haut und körpernahen Bekleidungsstücken geeignet ist. Es erfolgte die Festlegung der optimalen Prüfvorgehensweise und der zu messenden Kennwerte. Im Rahmen des interdisziplinären Grundlagenforschungsprojekts RO 1303/2-1 wurde die Wirkung von kompressiver Bekleidung auf den arteriellen Blutstrom der Armextremitäten untersucht [8]. Ziel war einerseits, die Zusammenhänge zwischen den Material- und Konstruktionsparametern der Bekleidung und den auftretenden Kräften zu erforschen und andererseits eine biologische Wirkung dieser Kräfte auf die Durchblutung zu prüfen. Die Ergebnisse sollen die wissenschaftliche Basis dafür schaffen, Kleidungsstücke mit einer durchblutungsmodulierenden Wirkung zu konstruieren, die gegebenenfalls später im Sport- und Fitnessbereich und in der Medizin eingesetzt werden können.

Im Projekt IGF-Nr. 17355 BG [9] wurden kinematische Menschmodelle zur Produktentwicklung von Bekleidung entwickelt. Mit dem kinematischen Modell hat der Anwender die Möglichkeit, die Gelenke des Modells unter genauen Winkelangaben in die erforderliche Haltung zu bewegen. Des Weiteren können Bewegungssequenzen, welche der typischen Anwendung einer bestimmten Bekleidung entsprechen, aufgezeichnet und jederzeit neu geladen werden. Der Modellmacher wird dadurch in die Lage versetzt, haltungsbedingt Auswirkungen auf die Schnittkonstruktion zu berücksichtigen. Besonders bei der Entwicklung funktionaler Sportbekleidung und Medizintextilien können noch bestehende Schwierigkeiten, z.B. Passformprobleme überwunden werden.

Im Projekt IGF-Nr. BR1296/20 (Softavatar) war das Ziel die Modellierung virtueller deformierbarer Formkörper zur realitätsnahen Abbildung körpernaher Bekleidung. Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden als Vorarbeit für die Erstellung der Simulationsmodelle genutzt werden [10].

3 Übersicht der Projektergebnisse

3.1 Methodik des modularen Prüfstandes Elastisches Beinmodell

Ein Ziel des Projektes war die Abbildung der Weichteile des Beines an einem Prüfstand. Für diese Anwendung wurde eine Methodik zur realitätsnahen Abbildung des menschlichen Beines entwickelt. Beispielhaft wurde im Rahmen des Projektes ein Bein der Größe 20/21 nach RAL GZ 387-1 umgesetzt. Erst wurden verschiedene Varianten zur Ermittlung der 3D-Geometrie mittels 3D-Handscanner und 4D-Bewegungsscanner (MOVE4D) durchgeführt (Abb. 1a), evaluiert und in virtuelle Zwillinge überführt (Abb. 1b). Für die additive Fertigung wurde das Modell mit der Sensoreinbindung modifiziert und im Kniebereich an die Bewegungseinrichtung angepasst, wie in Kapitel 3.2 erläutert.

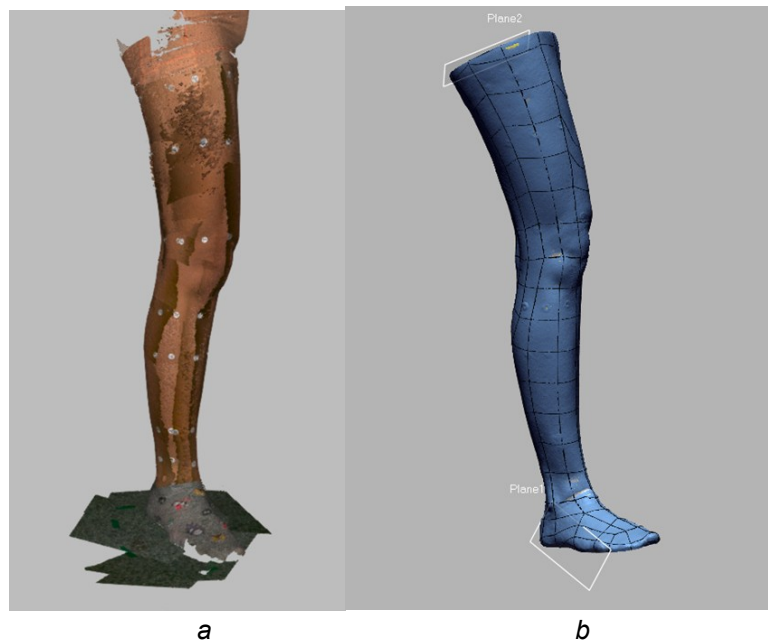


Fig. 1 Virtueller Zwilling eines Beins a) unverarbeiteter 3D-Scan mit sichtbarem Marker für die Punkte b) in freiformflächiges 3D geometrische überführtes Modell für die Weiterverarbeitung als CAD-Modell

Im Rahmen der Anpassung wurde die Beingeometrie modular unterteilt, um zukünftige Integration weiterführender thermophysiologicaler Messeinrichtungen, entsprechend DIN CEN/TR 16422, über Messsegmente zu gewährleisten. Im Rahmen des Projektes wurde die dynamische Kompressionsmessung priorisiert, als Haupteinflussfaktor des Komforts und der medizinischen Anwendung der Strumpfwaren, siehe Kapitel 3.4. Das gesamte Beinmodell wurde als CAD-Konstruktion parametrisch ausgelegt und ist auf verschiedenste Beingeometrien und -eigenschaften adaptierbar mit einem Fokus auf die maximale Anpassbarkeit und einfacher Umrüstbarkeit bei veränderten Beineigenschaften. Ein Teilabbild der Gesamtkonstruktion mit Bewegungseinrichtung, initialem Knieprototypen und Motoransteuerung ist in Abb. 2 zu sehen.

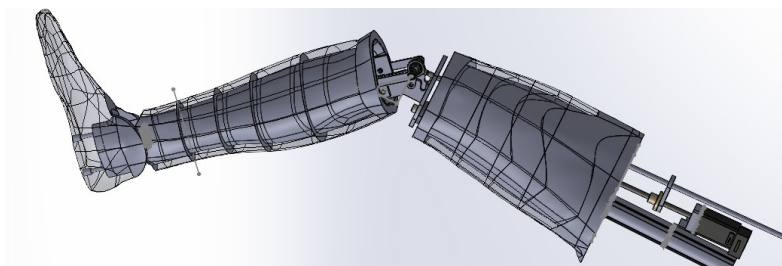


Fig. 2 CAD Konstruktion des Beins mit dargestelltem Antriebsmotor

Gesamtkonzeptionell wurde das so erstellte Bein in eine Prüfstandkonstruktion überführt und es wurden bereits Prüfmethode konzipiert und für den Anwendungsfall der Kompressionsmessung mit aktuellen

Prüfprototypen validiert, wie in Sektion 3.4 beschrieben. Dementsprechend wurde eine digitale Prozesskette zur Erstellung eines personen- oder patientenindividuellen Prüfstandes zur Komfort- und Kompressionsevaluation erstellt und diese Anhand der Konstruktion eines Beispielbeines bewertet, überarbeitet und validiert.

3.2 Weichteilabbildung

Um die Weichheit der unterschiedlichen Bereiche des Beines bei dem Messsystem und bei Simulationen zu berücksichtigen, wurde diese in vertikale und radiale Segmente unterteilt. Jedes Segment besteht aus einer inneren festen dünnwandigen Struktur (Abb. 3a, rote Struktur). Diese Struktur stellt die Trägerstruktur des Segmentes dar, um die äußeren flexibleren Strukturen abzustützen und interne Mess-, Antriebs- und Signaltechnik zu führen und zu schützen, bzw. raumgebend für die Bewegungseinrichtungen und Motoren, anliegend am Knie- und Fußgelenksbereich, sind. Die Weichgewebe wurden durch handelsübliche flexible Filamente auf TPU-basis gefertigt, und sind in der prototypischen Umsetzung mit einem Prusa XL 2-Filament-Extruder setup gefertigt worden. Die Füllstrukturen wurden entsprechend der Messwerte des Beines und medizinischer Literatur im Beinaufbau gemappt, zukünftig ist hier eine Automatisierung mittels OpenSource-Slicer Software, wie Slc3r, denkbar und für eine breitere Anwendung der Methodik sinnvoll. Fig. 3b zeigt ein Beispiel für die Gestaltung eines Querschnittes mit drei unterschiedlichen Füllstrukturen, die entsprechend unterschiedliche Steifigkeiten des menschlichen Beines in diesen Richtungen abbilden.



Fig. 3 Additiv gefertigtes weichen Segment eines Beines (a) Sichtbare Lagen für Knochenrepräsentation (Rot) und Weichgewebe, b) Segment für Weichgewebe mit drei unterschiedlichen Elastizitäten ausgeführt durch unterschiedliche Füllstrukturen

Die Ermittlung der Elastizität der Weichteile wurde ausführlich in früheren Arbeiten analysiert und dabei wurde festgestellt, dass das Gerät IdentoPRO des Unternehmens Thermotrigger Wolfgang Klausner (thermotrigger.de) zurzeit das einzige Gerät ist, das gleichzeitig Eindringtiefe und Reaktionskraft bei dieser Tiefe misst [3] (Fig. 1).



Fig. 4 Ermittlung der Elastizität des Weichgewebes und Eindringtiefe an einem Messpunkt mittels IdentoPRO Gerät.

Im Rahmen des Projektes wurde ein Verfahren entwickelt, in dem gezielt eine Liste einzelner Punkte getestet werden, die für die ausreichend gute Darstellung des Gesamtverhaltens ausreichend sind (Fig. 2). Die erfassten Daten werden auf einem dafür entwickelten virtuellen Zwilling als 3D Geometrie gemappt und dienen im Anschluss sowohl zum Erstellen von FEM Simulationsmodellen, als auch als Startdatensatz für den elastischen Testprüfstand.

Um eine möglichst realitätsnahe Oberfläche zu erreichen, wurden unterschiedliche Materialien für Abdeckungen ausführlich auf elastisches Verhalten und Reibungszahl getestet. Bestehende Anwendungen der silikonbasierten Prothetik, aber auch textile Lösungen, wie Abstandsgestricke und Kunstleder wurden reibwerttechnisch und funktionell evaluiert. Vereinfacht wurde eine Lösung für trockene Haut für den Prototypen ausgesucht. Die beste funktionelle Abbildung erreichte hierbei das Kunstleder Lorica Soft®, welches bereits in der Normung als materialeitiger Hautersatz verwendet wird (bfu-Prüfreglement R 9729 [12]). Durch die fehlende Elastizität des Lederimitates wird in den beweglichen Zwischenzonen für die prototypische Umsetzung ein flexibles Gestrick eingenäht. Hierbei sind zukünftig Klemmlösungen in den Einzelsegmenten vorgesehen, sodass reibwertbeeinflussende Nähte und Übergangsstrukturen vermieden werden können und ggf. nicht mehr notwendig sind. In der zusammenfassenden prototypischen Umsetzung erfolgte die Konstruktions- und Methodenvvalidierung aus Kapitel 3.1 mittels des 3D-Druckverfahrens und der übergezogenen Hautabbildung, beispielhaft in Abb. 5. Hierbei werden die Segmente auf ein handelsübliches Aluminiumprofil aufgezogen und das Fußsegment als ein Stück auf Standard-3D-Druckern, wie dem Prusa XL, gefertigt. Validiert wurde dies über vergleichende Kompressionsmessungen mittels medizinischer Kompressionssocken und der menschlichen Beinreferenz.



Fig. 5 Prototyp Unterschenkel und Fuß abgedeckt mit Haut-ähnlichem Stoff und elastischem Material im Gelenkbereich

3.3 Simulation

Im Rahmen des Projektes wurde ein digitaler Zwilling des Prüfstandes auf Funktionsebene erstellt, sodass virtuell Kompressionsprodukte vor der Produktion evaluiert und optimiert werden können. Dies wurde mittels FEM-Simulationen mit möglichst realistischen Beinabbildungen umgesetzt werden. Hierfür wurden die Menschmodelle HANS [13] und THUMS [14] eingehend analysiert und als nicht passend für diesen Anwendungsfall eingestuft. Die Modelle beinhalten beispielsweise deutlich mehr Details über den menschlichen Körper, als für die textile Produktentwicklung erforderlich ist und sind dementsprechend rechentechnisch für die Anwendung in KMU zu anspruchsvoll, weiterhin sind benötigte Flexibilitäten in der Anwendung und Bewegung der Modelle bisher nicht ausreichend implementiert, sodass die Simulationmethode nach dem IGF Projekt Softavatar (IGF 22435 BR) und der Dissertation Tal [10] weiterentwickelt wurde. Mittels einer gescannten Beingeometrie und dem SMPL-Modell wurden Bewegungen im Kniebereich realitätsnah nachgebildet und simulativ die Kompressionseinwirkung erfasst. Dieser OpenSource-basierte Ansatz ist für die KMUs der Textilindustrie einfach umsetzbar und wurde auf dem 10ten International Digital Human Modelling Symposium 2026 vorgestellt [15].

3.4 Mess- und Sensortechnik

Zentraler Punkt der Prüfstandauslegung war die Integration der Kompressionsmesstechnik mit minimalstem Einfluss auf die Beingeometrie und das Materialverhalten des abgebildeten Weichteilgewebe-3D-Drucks unter Bewegung. Hierfür wurden gängige in-situ-Messmethoden, z.B. mit dem Microlab PicoPress® -Gerät [16] oder Novel teksense [17] in Relation zu den Freiformphantomen der Beinumsetzung evaluiert und auf der AUTEX 2026 präsentiert [18]. Erweiternd dazu wurde eine neuartige Variation der FSR-Kompressionsmessung über bedruckte Foliensensoren des Projektpartners Flexoo GmbH analysiert, da dies einen minimalinvasiven Einbau unter die Hautabbildung ermöglichen kann und (fast) freie Gestaltungsmöglichkeiten in der Sensorpositionierung, was eine flächige Auflösung, analog zur Simulation des digitalen Zwillings, zukünftig ermöglicht. Der Evaluationsprototyp mit verschiedenen Sensorgrößen ist in Abb. 6 zu sehen.



Fig. 6 Neuartiger Flexoo Sensor mit 24 Nasszellen, hier in Entwicklungsprototyp

Die Foliensensorik wurde weiterführend in die Beinkonstruktion samt Hautabbildung überführt und konzeptionell integriert, sowie funktionell am prototypischen Unterschenkel, siehe Abb. 4, validiert.

Der ursprüngliche Wunsch einiger Unternehmen, holistische Tragekomforteigenschaften direkt in das Bein zu integrieren, hat sich als nicht wirtschaftlich herausgestellt. Neben der Problematik aktuell nicht kommerziell erhältlicher Messtechnik in der, für eine derartige Beinkonstruktion benötigten Bauraumlimitierung, ist ein adäquates Model des Beines im Sinne des thermischen und wasserdampftransportierenden Austausches konstruktionstechnisch und finanziell aktuell nicht vereinbar. Hierfür wurden im Rahmen der Projektumsetzung bereits Anforderungen an solche Messtechniken sowie erste Anforderungen definiert und können weiterführend als Anforderungsliste im Sinne eines Lastenheftes für weiterentwickelnde Forschung genutzt werden.

Für eine erste messtechnische quantifizierbare Evaluation wurde deshalb exemplarisch ein Komfortscore für Kompressionstextilien entwickelt und verschiedenste zu berücksichtigende thermophysiologische Messverfahren auf die Anwendung an Kompressionssocken evaluiert. Beispielsweise wurden Feuchtigkeitsquertransport auf dafür spezialisierte Geräte wie WickView (Moisture Management Tester) [19], Weichheit mit Textile Sensation Analyser TSA [10] und Luftdurchlässigkeit, Wärme- und Wasserdampfdurchgangswiderstand auf marktüblichen Geräten für die untersuchten Materialien evaluiert.

4 Zusammenfassung

Während des Projekts wurde eine komplette Entwicklungskette für die Erstellung von elastischen, weichen, mit Gelenken ausgestatteten knickbaren Fußteilen entwickelt. Die Geometrie kann entweder für einzelne Personen anhand eines 3D-Scan-Datensatzes oder als repräsentative Geometrie aus einer mittleren Geometrie einer Personengruppe verwendet werden. Die elastischen Eigenschaften wie Weichheit (Elastizität) und Eindringungstiefe werden nach einem entwickelten Verfahren systematisch erfasst, dokumentiert und für die Erstellung der 3D-gedruckten Geometrien mit zwei-Komponenten-Drucker verwendet oder auch zur Erstellung von 3D-Simulationen. Den eingesetzten neuartigen Messstreifen erlaubt die Evaluierung der Druckverteilung von Kompressionsobjekten auf dem Umfang des Beins und dessen Länge unter Berücksichtigung der Körperelastizität. Mit diesen geschaffenen Grundlagen kann die Produktentwicklung von Kompressionsprodukten eine deutlich höhere Präzision erreichen und die Qualitätssicherung zu einer deutlich höheren Kundenakzeptanz führen.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben **01IF23104N** der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Textil e.V. wurde über die AiF/DLR-PT 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.

Literatur

- [1] Rabe, E., et. *Venenerkrankungen der Beine*, Heft 44, Robert Koch Institut, Statistisches Bundesamt, Berlin, RKI, 2009, <https://www.gbe-bund.de/pdf/Venenerkrankungen.pdf>
- [2] -, MST MK Broschüre, Swisslastic AG, St. Gallen, <https://www.swisslastic.ch/files/MST-MK-IV.pdf>
- [3] Girmond F. „HOSYcan“ – ein Prüfgerät zur Messung des Druckverlaufs von Kompressionstextilien. *Orthopädie Technik*. 2018; 69 (12): 54–57, <https://360-ot.de/hosycan-ein-pruefgeraet-zur-messung-des-druckverlaufs-von-kompressionstextilien/>
- [4] -, Falke, Falke Travel & Comfort, https://www.falke.com/de_de/ts/falke-travel-comfort/, accessed 05.2026
- Bolkart, J., *Entwicklung der Ausgaben für Heil- und Hilfsmittel der GKV bis 2020*.
- [5] Rossi, R., Bogerd, N. et.al, „Entwicklung von Kampfschuhen,“ Erding, Nov. 24 2011.
- [6] Kurz, B. , Zimmermann, C., Bektic, D. „Validierung von thermophysiologischen Simulationsverfahren,“ Erding, Nov. 22 2011.
- [7] Krzywinski, S., in Forschungskuratorium Textil, Forschungsradar 2/2019, https://textil-mode.de/de/documents/1053/2019-11-26_Forschungsradar.pdf (accessed 05.2026)
- [8] Bochmann, R., Haase, E. -. and Rödel, H. e. a. „External compression increases forearm perfusion,“ *J Appl Physiol*, vol. 99, pp. 2337–2344, 2005. [Online]. Available: doi://10.1152/japplphysiol.00965.2004
- [9] Krzywinski, S. ., Wendt, E. ., Leipner A. et al., „Kinematische Menschmodelle zur Produktentwicklung von Bekleidung (Kinematische Menschmodelle)“, IGF 17355 BG/1, Dresden, Hohenstein, 2014.
- [10] Schmidt, A.-M., Novel Methodologies for Digital Investigations of Clothing-Body-Interactions, Advancing Development of Tightly Fitted Clothing Using 4D Scan Data and Finite Element Analysis Based on Deformable Human Body Model, Springer, 2025, <https://doi.org/10.1007/978-3-031-91794-3>
- [11] Poersch, M., *Kompressionstherapie. Über eine Million Kompressionsstrümpfe aus der Apotheke*. (accessed: Dec. 15 2021).
- [12] BFU-Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern, Klassifizierung von Bodenbelägen mit rutschhemmenden Eigenschaften, bfu-Prüfreglement R 9729, https://www.metallvertrieb.com/cms/wp-content/uploads/filr/2542/2016_bfu_Pruefreglement_Bodenbelaege_d.pdf (last access 05.2026)
- [13] NN; Ansys, Hans Human Body Model, <https://www.ansys.com/de-de/products/ansys-hans> (last access 05.2026)
- [14] NN, Total HUman Model for Safety - Virtual human body model for analysis of vehicle collision-related injuries, <https://www.toyota.co.jp/thums/> , Toyota, (last access 05.2026)
- [15] Melendez, I., Hesse K., and Kyosev, Y., *Model development for Dynamic Pressure Response of Compression Stockings using FE Modelling*, 10ten International Digital Human Modelling Symposium 2026 , <https://dhm2026.fs.um.si/symposium/programme/>
- [16] Microlab PicoPress <https://www.medismedical.com/?product=picopress>
- [17] Novel TexSens® mobile load measurement in the textile and garment industry <https://novel.de/products/textsens/>
- [18] Hesse, K., Kyosev, Y. et.al. Novel pressure measurement system for compression products: accuracy and challenges, 25th World Conference Autex 2026, Marrakech, Morocco, 2-5 June, 2026
- [19] WickView – Moisture Management Tester, <https://www.jamesheal.com/instrument/wickview>
- [20] TSA -Tactile Sensation Analyzer, <https://www.emtec-electronic.de/de/>