

Schlussbericht vom 31.10.2025

zum IGF-Vorhaben 01 | F00361C

Thema

Beurteilung und Optimierung des Bekleidungskomforts durch Thermografie und künstliche Intelligenz

Berichtszeitraum

01.09.2023 bis 31.10.2025

Forschungsvereinigung

Forschungskuratorium Textil e.V. – FKT
Wallstraße 58/59
10179 Berlin

Forschungseinrichtung(en)

Forschungseinrichtung 1

Institut für Technologietransfer an der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes
gemeinnützige GmbH (FITT)
Saaruferstraße 16
66117 Saarbrücken

Forschungseinrichtung 2

Hohenstein Institut für Textilinnovation gGmbH (HIT)
Schlosssteige 1
74357 Bönningheim

Platz für ein Logo

1. Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht stellt die zentralen Ergebnisse des Projekts ComfortTex-AI - Bewertung und Optimierung des Tragekomforts von Kleidung mittels Thermografie und Künstlicher Intelligenz (KI) - vor. Das übergeordnete Ziel dieses ambitionierten Forschungsprojekts war die Entwicklung einer schnellen, benutzerfreundlichen und kosteneffizienten Methodik zur Vorhersage des Tragekomforts von Kleidung mithilfe KI sowie die Überwindung der Einschränkungen herkömmlicher Komfortbewertungsmethoden, die häufig zeitaufwendig, subjektiv und in ihrem Anwendungsbereich begrenzt sind. Der vorgeschlagene KI-basierte Ansatz zielte darauf ab, diese Defizite durch die Nutzung von Daten zu überwinden, die aus der Bewertung von Bekleidungssystemen unter kontrollierten Bedingungen durch menschliche Probanden gewonnen wurden. Diese Methodik bietet ein hohes Potenzial, Textilhersteller bei der Entwicklung von Kleidungsstücken mit verbessertem Tragekomfort zu unterstützen, die gezielt auf spezifische Anwendungsbereiche wie Arbeits- und Sportbekleidung abgestimmt sind. Der Tragekomfort von Kleidung wird von einer Vielzahl von Variablen beeinflusst. Um eine robuste Grundlage für die KI-Modellierung sicherzustellen, konzentrierte sich die Studie auf zwei zentrale Einflussgrößen: den Materialtyp und die Passform des Kleidungsstücks. Weitere relevante Faktoren wie Umgebungsbedingungen, Arbeitsintensität und Probandenprofile wurden konstant gehalten, um die Effekte der ausgewählten Variablen gezielt zu isolieren. Ein detailliertes und reproduzierbares Testprotokoll wurde entwickelt und während der Trageversuche strikt eingehalten. Männliche Probanden trugen Kleidungsstücke, die sich hinsichtlich Material und Passform unterschieden, und bewerteten während moderater Indoor-Laufeinheiten ihren Tragekomfort sowie das Wärme- und Feuchtigkeitsempfinden.

Parallel dazu wurden physiologische Parameter (z. B. Körperkerntemperatur, Hauttemperatur, Feuchtigkeitsrate, Herzfrequenz) kontinuierlich mithilfe kommerziell verfügbarer Sensorsysteme erfasst. Insgesamt wurden im Rahmen des Projekts rund 114 Trageversuche (90 bei HOGENT und 24 bei Hohenstein) mit einer Dauer von jeweils 30 Minuten durchgeführt. Die Teilnehmenden bewerteten den Tragekomfort von hautnah getragenen T-Shirts und Poloshirts, die von Herstellern und Projektpartnern bereitgestellt wurden und in der Praxis häufig als Arbeitsbekleidung mit unterschiedlichen Schutzstufen eingesetzt werden. Darüber hinaus wurden die Komforteigenschaften der gestrickten Materialien analysiert und in technischen Datenblättern zusammengefasst. Es wurden mehrere Maschinelles-Lernen-Ansätze und neuronale Netzwerkarchitekturen getestet. Einfache binäre neuronale Netze, die Materialeigenschaften und Sensordaten nutzten, erreichten eine Vorhersagegenauigkeit von bis zu 92 % für den Tragekomfort. Interessanterweise führte die zusätzliche Einbindung thermografischer Bilddaten nicht zu einer Verbesserung der Modellleistung, was darauf hindeutet, dass kostenintensive Bildgebungssysteme für eine effektive Komfortvorhersage nicht zwingend erforderlich sind. Trotz hoher Genauigkeit bei der Vorhersage thermischer und feuchtebezogener Parameter erwies sich der subjektive Tragekomfort als die am schwierigsten modellierbare Dimension. Mehrklassige Ansätze hatten Schwierigkeiten, feine Abstufungen der Empfindungen zuverlässig zu unterscheiden, was die Komplexität der menschlichen Komfortwahrnehmung unterstreicht. Die Anwendung neuronaler Netze ohne den Einsatz teurer Messtechnik verdeutlicht dennoch die grundsätzliche Machbarkeit einer Integration von KI in praxisnahe Entwicklungsprozesse für Bekleidung. Die derzeitigen Modelle sind jedoch in ihrer Generalisierbarkeit eingeschränkt, insbesondere aufgrund begrenzter Stichprobenvielfalt und konstanter Umweltbedingungen. Angesichts der bisher gesammelten begrenzten Daten wurde der Projektumfang kritisch überprüft. Die ursprüngliche Erwartung einer allgemein anwendbaren Lösung zur Unterstützung von KMU erfordert eine größere Datenbank, die verschiedene Geschlechter, eine Vielzahl von Materialien sowie unterschiedliche Eigenschaften und Geometrien abdeckt. Ohne die vielversprechenden aktuellen KI-Ergebnisse (92 % Genauigkeit) zu unterschätzen, wurden die verfügbaren Daten analysiert, um den Projektumfang anzupassen und eine Methodik zu entwickeln, die es einer Webanwendung ermöglicht,

den Komfortgrad mit einem Minimum an für eine solche Vorhersage relevanten Eingabedaten zu bestimmen.

Die Rekrutierung geeigneter Probanden stellte eine der zentralen Herausforderungen im Projektverlauf dar. Die Auswahl von Testpersonen mit passenden Profilen war zeitaufwendig. Die ursprünglich angestrebte Anzahl von zehn Teilnehmenden wurde reduziert, sodass jedes Kleidungsstück von vier bis fünf Personen bewertet wurde. Die Durchführung von rund 114 Trageversuchen erforderte einen erheblichen zeitlichen und personellen Aufwand. Gleichzeitig ist der Umfang des Kleidungsdatensatzes begrenzt, und es fehlt an demografischer Vielfalt, was die Übertragbarkeit der Ergebnisse einschränkt. Auch die konstant gehaltenen Umweltbedingungen reduzieren den Anwendungsbereich der gewonnenen Erkenntnisse. Zur Weiterentwicklung des Forschungsfeldes und zur Ermöglichung einer breiteren Anwendung KI-gestützter Komfortvorhersagen werden folgende Schwerpunkte empfohlen: (i) Erweiterung des Datensatzes zur Erhöhung der Probandenvielfalt, einschließlich Frauen, älterer Personen sowie Menschen mit unterschiedlichen Fitnessniveaus und Körperzusammensetzungen; (ii) Variation der Umweltbedingungen durch systematische Änderungen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit, insbesondere unter extremen Bedingungen (heiß-feucht und kalt-trocken), um das Materialverhalten besser zu verstehen; (iii) Erweiterung der Materialdatenbank um repräsentative und/oder neuartige Materialien sowie mehrlagige Bekleidungssysteme; und (iv) Weiterentwicklung der Modellierungsansätze, einschließlich interpretierbarer Deep-Learning-Methoden und Attention-Mechanismen zur Identifikation relevanter physiologischer Signale und zeitlicher Einflussfenster auf den Tragekomfort. Forschende und Anwender sollten die derzeitigen KI-Methoden als vielversprechende Machbarkeitsnachweise betrachten, die jedoch vor einem Einsatz in sicherheitskritischen Anwendungsfeldern wie Arbeitsschutz oder Leistungssport einer weiteren fundierten Entwicklung und Validierung bedürfen.