Klimahaushalt im System Fuß-Strumpf-Schuh

Sicherheitsschuhe zu tragen ist im Prinzip wie eine Helmpflicht für die Füße. Eigentlich. Die Praxis aber zeigt: Es passieren viel zu viele Arbeitsunfälle mit schweren Fußverletzungen, weil die betroffene Person keine Sicherheitsschuhe trug. Warum? „Zu warm, zu schwer, zu unschön". In Bezug auf Gewicht und Design haben die Sicherheitsschuhhersteller mittlerweile Quantensprünge vollzogen. Verbesserungspotenzial gibt es aber noch im Bereich Fußklima. Deshalb hat das PFI in einem gemeinsamen Forschungsprojekt mit HIT Hohenstein Institut für Textilinnovation gGmbH untersucht, was am System Fuß-Strumpf-Sicherheitsschuh verbessert werden kann. Um es gleich zu sagen: die Strümpfe spielen hier eine entscheidende Rolle.

Ob Strümpfe und Schuhe vom Träger als angenehm empfunden werden, hängt in hohem Maß davon ab, wie gut sie Temperatur und Feuchte am Fuß regulieren. Deshalb bewerben die Hersteller gern Produkteigenschaften wie Wasserdampfaufnahme und Wasserdampfdurchlässigkeit, die trockene Füße und überhaupt ein angenehmes Fußklima versprechen. Besonders wichtig ist das bei Schuhen, die bei intensiver körperlicher Aktivität getragen werden, und zwar von Sport- über Wander- und Trekkingschuhe über Arbeits- und Sicherheitsschuhe bis hin zu Polizei- und Militärschuhwerk. Leider zeigt sich gerade bei Arbeits- und Sicherheitsschuhen in der Praxis, dass sie nicht getragen werden, weil sie keinen ausreichenden Klimakomfort bieten.

Hinzu kommt der mangelnde Komfort des Systems Fuß-Strumpf-Schuh, der das Risiko von Fußverletzungen und Unfällen noch erhöht. Die Normen, die für Sicherheitsschuhe gelten, berücksichtigen nur die Wasserdampfaufnahme und Wasserdampfdurchlässigkeit der Einzelmaterialien. Am Schuh aber sind Materialien zu einem Verbund verarbeitet. Der Tatsache, dass Sohlen, Stahlkappen, Stahl-Einlegesohlen und -Hinterkappen undurchlässig sind, wurde bislang wenig Beachtung geschenkt.

Es gibt unseres Wissens keine wissenschaftlichen Studien über das System Fuß-Strumpf-Schuh. Die meisten Veröffentlichungen hierzu betrachten nur eine Komponente des Systems, aber nicht die Interaktion aller Komponenten.

Das Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V. (PFI) und das HIT Hohenstein Institut für Textilinnovation gGmbH haben gerade ein Forschungsprojekt abgeschlossen, das den Einfluss der Strumpf-Schuh-Konstruktion auf das Schuhklima in Arbeits- und Schutzschuhen betrachtete. Das System Fuß-Strumpf-Schuh in Sicherheitsschuhen wurde stellvertretend für alle anderen Schuhtypen analysiert, da Sicherheitsschuhe üblicherweise einen ganzen Arbeitstag getragen werden und damit für eine Betrachtung im Zusammenhang mit intensiver körperlicher Aktivität geeignet sind. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind auf alle anderen Schuhtypen übertragbar. Zum ersten Mal überhaupt wurden in einer systematischen, umfangreichen und variierenden Stichprobennahme die komplexen Zusammenhänge im System Fuß-Strumpf-Schuh untersucht.

Das Projekt sollte offene Fragen über den Feuchte- und Temperaturhaushalt in diesem System beantworten und die wissenschaftliche Grundlage zur Entwicklung von Maßnahmen liefern, wie Feuchte und Temperatur in diesem System mit Hilfe von gezieltem Materialeinsatz bei Strümpfen und Schuhen reguliert werden können.

Bevor die Laborversuche und Tragetests anliefen, wurde untersucht, welche Materialien in Sicherheitsschuhen und Strümpfen verwendet werden. Die Bandbreite der eingesetzten Materialien ist – wie zu erwarten war – sehr groß. Daher wurden aus jeder Kategorie die fünf am häufigsten verwendeten Materialien ausgewählt. 25 Kombinationen wurden mit den PFI Komforttester (siehe Abbildung 1) und dem „Schwitzenden Fuß“ der Hohensteiner Institute (siehe Abbildung 2) getestet.

Die beiden Geräte simulieren das Schwitzen von Füßen durch unterschiedliche Methoden. Der Komforttester benutzt Wasserdampf. Der Hohensteiner „Schwitzende Fuß“ arbeitet mit Wassertröpfchen, die aus Öffnungen in den 13 Elementen des Metallfußes austreten und auf diese Art die Funktion von Schweißdrüsen nachstellen. Dieses Prüfgerät erlaubt auch Simulationen im Bereich des Temperaturmanagements.

Abb. 1: PFI Komforttester

Abb. 2: Der Hohensteiner „Schwitzende Fuß“

PFI Komforttester

Mit dem PFI Komforttester wurden Kurz- und Langzeittests durchgeführt. Der Kurzzeittest simuliert hohe Belastung bei intensiver körperlicher Aktivität mit Schwitzen und anschließender reduzierter körperlicher Aktivität, bei der die Strümpfe sogar an den Füßen wieder trockneten. Der Langzeittest simuliert einen kompletten Arbeitstag mit unterschiedlicher Beanspruchung.

Abbildung 3 zeigt den Ablauf des Kurzzeittests. Die einzelnen Komponenten des Systems aus künstlichem Fuß, Strumpf und Schuh wurden vor Beginn und zu bestimmten Zeitpunkten während der Prüfung gewogen (siehe Abbildung 3).

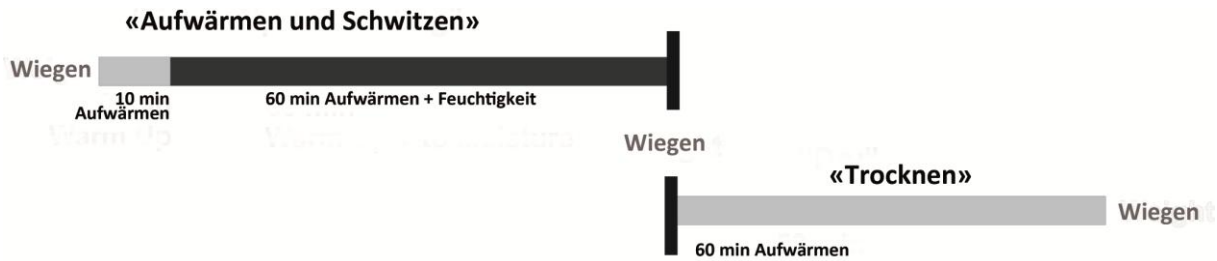

Abb. 3: Ablauf des Kurzzeittests

Die Gewichtsunterschiede aller Komponenten des Systems wurden verglichen und analysiert.

Versuche mit dem Hohensteiner „Schwitzenden Fuß“

Die Prüfungen mit dem Hohensteiner „Schwitzenden Fuß“ (HIT) bestehen aus drei Phasen, die einzeln jeweils 60 min und in der Summe 180 min dauern (siehe Abbildung 4).

Abbildung 4: Ablauf der HIT-Prüfung

Die Wärmedurchgängigkeit und der Wasserverbrauch des „Schwitzenden Fußes” wurden aufgezeichnet und für jede Phase und jedes Element gesondert analysiert.

Ergebnisse der Prüfungen mit dem PFI-Komforttester

Die Ergebnisse der Kurz- und Langzeittests zeigten, wie wichtig es ist, alle Elemente des Systems zu betrachten. Strümpfe haben einen enormen Einfluss auf die Eigenschaften des Systems. Sie können den Feuchtetransport vom Fuß in den Schuh blockieren oder unterstützen. Von den Schuhmaterialien hängt die Feuchtigkeitsmenge ab, die aus den Strümpfen aufgenommen und als Wasserdampf an die Umgebung abgegeben werden kann. Die Verdampfungsraten der einzelnen Schuhmaterialien können sehr unterschiedlich sein.

Textile Schuh- und Strumpfmaterialien, die Baumwolle und Polyamid enthalten, fördern den Feuchtetransport. Leder nimmt eine große Feuchtigkeitsmenge auf, aber gibt sie nur langsam wieder ab.

Ergebnisse der HIT-Versuche

Hohenstein konnte zusätzlich zum Wasserdampfdurchgangswiderstand den Wärmedurchgangswiderstand bestimmen. Ergebnis: Die Sicherheitsschuhe sind die dominante Komponente im System Fuß-Strumpf-Schuh in Bezug auf den Wärmedurchgang. Der Einfluss verschiedener Strumpfmaterialien hinsichtlich des Wärmedurchgangs konnte nicht nachgewiesen werden.

Die Tests lieferten weitere Details hinsichtlich des Wasserdampfdurchgangswiderstands. Die unterschiedlichen Kombinationen lieferten unterschiedliche Werte. Bei Schuhen mit Außen- und Innenschaft aus Leder wurden die höchsten Widerstandswerte gemessen. Die niedrigsten Werte

wurden bei Schuhen mit Textilfutter oder mit Membranausstattung ermittelt. Strumpfmaterialien mit den niedrigsten Widerstandswerten waren Mischgewebe aus Polypropylen (PP), Baumwolle (CO), Polyamid (PA), Polyacryl (PAN) und Elasthan (EL). Strümpfe aus Wolle oder Wollgemischen zeigten die höchsten Widerstandswerte.

Tragetests

Tragetests mit Probanden vervollständigten die Simulationen durch subjektive Beurteilungen. Hierzu führten PFI und HIT Tests bei unterschiedlicher körperlicher Belastung durch.

Das PFI kombinierte die subjektiven Eindrücke mit der Temperaturmessung im Schuh (Abbildung 5) und zeichnete das Gewicht der Socken vor und nach den Tragetests auf. Zwei junge männliche Probanden mussten ihr Temperatur- und Feuchteempfinden während körperlicher Aktivität mit wechselnder Intensität bewerten.

Das Ergebnis war, dass das System Strumpf-Schuh bei intensiver körperlicher Aktivität nicht in der Lage ist, die Feuchtigkeit vom Fuß weg zu transportieren. Die Testpersonen beschrieben ihre Füße bereits nach kurzer Tragezeit als unangenehm nass. Alle Temperaturen über 33 °C wurden als zu warm empfunden. Die Tester waren nicht in der Lage, klar zwischen dem Gefühl von Hitze und Feuchtigkeit zu unterscheiden. Nach ihrer Beurteilung war der Lederschuh komfortabler als der Textilschuh.

Abbildung 5: Proband mit Temperatursensoren in den Schuhen (PFI)

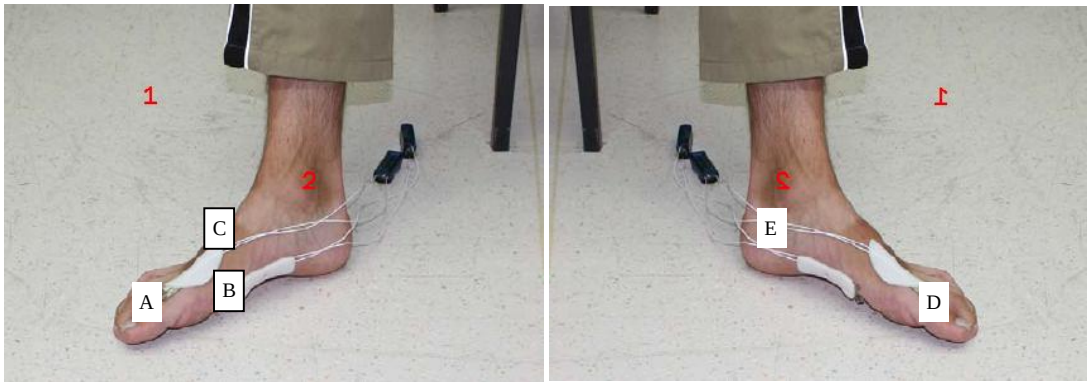

Abbildung 6: Proband mit Wärme- und Feuchtigkeitssensoren an den Füßen (HIT)

Die HIT-Versuche mit Probanden ergaben deutliche Vorteile für Schuhe mit Textilfutter oder komplette Textilschuhe gegenüber anderen untersuchten Schuhen. Lederschuhe und Schuhe mit Schafwollfutter nahmen mehr Feuchtigkeit auf. Die Probanden bewerteten die Temperatur in Abhängigkeit von der Strumpf-Schuh-Kombination als zu warm. Die Kombination, die als am wenigsten komfortabel beurteilt wurde, war der mit Wollstrümpfen getragene Lederschuh.

Die Tragetests ergaben ein breites Spektrum von individuellen Bewertungen gegenüber den Simulationen. Die Ergebnisse zeigten, dass weitere Forschungsarbeit auf diesem Gebiet nötig ist. Schuhe und Strümpfe müssen als System betrachtet werden. Es ist möglich, die Eigenschaften des Systems zu verbessern und dadurch einen deutlich besseren Schuhkomfort zu erreichen.

Dank

Das IGF-Vorhaben 17908 N der Forschungsvereinigung Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V. – PFI, Marie-Curie-Str. 19, 66953 Pirmasens wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Forschungsnetzwerk Mittelstand

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Für weitere Informationen oder um den Abschlussbericht in voller Länge zu erhalten, wenden Sie sich bitte an:

Dr. Monika Richter
Abteilungsleiterin Schuhtechnik und -forschung
Tel.: +49 (0)173 3094168
E-Mail: monika.richter@pfi-germany.de