

Zusammenfassung

zu IGF-Vorhaben Nr. 18960

Thema

Entwicklung einer innovativen Leistenform unter Berücksichtigung der anatomischen und biomechanischen Gegebenheiten speziell des Vorfußes

Projektlaufzeit

01.12.2015 - 31.05.2018

Forschungsvereinigung

Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e. V.

Forschungsstelle(n)

FS 1: International Shoe Competence Center Pirmasens gGmbH

FS 2: Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e. V.

Danksagung

Wir möchten uns hiermit für die Förderung des Forschungsvorhabens AiF-Nr. 18960 N bedanken, das im Programm zur Förderung der „Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)“ aus den Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V. erfolgte.

Unser Dank gilt auch allen Firmen und deren Mitarbeitern für die tatkräftige Unterstützung bei der Bearbeitung des Projektes. Die konstruktiven Diskussionen und die materielle Unterstützung haben zum Gelingen wesentlich beigetragen:

- Ara shoes AG
- Bär GmbH
- Brüder Winkle GmbH + Co.KG
- Salzenbrodt GmbH + Co.KG
- Deutsches Schuhinstitut GmbH
- EuroFORMA GmbH
- Fagus-Grecon Greten GmbH + Co.KG
- Framas Kunststofftechnik GmbH
- Fritz Minke GmbH Co.KG
- Gabor Shoes AG
- GeBioM mbH
- Haix Schuhe Produktions- und Vertriebs GmbH
- Hermelin GmbH
- Louis Steitz Secura GmbH + Co.KG
- LOWA Sportschuhe GmbH

- Lukas Meindl GmbH+ Co.KG
- M. Spenlé GmbH Schuhleistenfabrik
- nico Norbert Schmidt GmbH + Co.KG

- Ring Maschinenbau
- Spannrit Schuhkomponenten GmbH
- W.L. Gore & Associates GmbH

Kurzzusammenfassung

Ein Leisten ist in der Produktion das Herzstück eines jeden Schuhs und stellt somit die Basis einer jeden Schuhfertigung dar. Im eigentlichen Sinne ist der Leisten ein (stilisierter, starrer) Repräsentant bzw. Modell eines sehr flexiblen menschlichen Fußes.

Schaut man sich die Vorfußform konventioneller Leisten im Detail an, so stellt man fest, dass die Leistensohle, unabhängig vom Hersteller und unabhängig der allgemeinen Passform, im Vorfußbereich ballig (konvex), sprich nach unten gewölbt ist. Vergleicht man diese Formvorgabe des Leistens mit der anatomischen Form eines Fußes im Stand und in der Fortbewegung, so ist zu erkennen, dass die im Vorfußbereich konvexe Leistensohlenform die menschliche Fußanatomie nicht widerspiegelt und spätestens unter Belastung zu einer (aus Sicht der Physiologie und Biomechanik) unerwünschten Verformung des Fußes beiträgt. Dies kann auf Dauer zu einem Funktionsverlust der Fußstrukturen führen.

Ziel des beantragten Projektes war die Erarbeitung und Erprobung einer innovativen, auf einer planen Vorfußpartie aufbauenden, ergonomischen Leistenform. Es sollten sowohl für den industriellen Schuhbau als auch für die individuelle Fertigung von Maß- und orthopädischen Schuhen Möglichkeiten aufgezeigt werden, den notwendigen Gebrauchsgegenstand Schuh in der Form zu gestalten, dass:

- zum einen eine dauerhaft gesunderhaltende Einwirkung auf den Fuß und damit auf den gesamten Haltungs- und Bewegungsapparat gewährleistet werden kann,
- und zum anderen der Fuß in seiner Funktions- und Leistungsfähigkeit (Effizienz; im Sinne der Ergonomie) unterstützt wird.

Anhand der Untersuchungsergebnisse wurden Kriterien zur Herstellung von, auf einer planen Vorfußpartie aufbauenden, ergonomischen Leisten (und Schuhen) zusammengetragen, welche den belasteten Fuß physiologisch, biomechanisch sowie anatomisch optimal repräsentieren, ihn dauerhaft gesund erhalten und die Funktionsfähigkeit hinsichtlich einer natürlichen Benutzung und Belastung des Fußes verbessern.

Das Ziel des Projektes wurde erreicht.

1 Problemstellung

Ein Leisten ist in der Produktion das Herzstück eines jeden Schuhs und stellt somit die Basis der Schuhfertigung dar. Im eigentlichen Sinne ist der Leisten ein (stilisierter, starrer) Repräsentant bzw. Modell eines sehr flexiblen menschlichen Fußes. Er hat im Grunde die Aufgabe, den Fuß möglichst real in seinen Maßen zu vertreten. Je besser der Leisten bzw. seine definierten Maße einen Fuß repräsentiert, umso besser gestalten sich die Passform und damit zusammenhängend auch das Komfortempfinden des Trägers. Häufig werden jedoch bewusst Abweichungen von den benötigten Fußmaßen in Kauf genommen, um Mode- und Design-Wünsche zu befriedigen.

Betrachtet man die Vorfußform konventioneller Leisten im Detail, so stellt man fest, dass die Leistensohle, unabhängig vom Hersteller und unabhängig der allgemeinen Passform, im Vorfußbereich ballig (konvex), sprich nach unten gewölbt ist. Auch viele individuell gefertigte Leisten (z. B. für Maßschuhe bzw. orthopädische Schuhe) weisen eine Auflagefläche für den Vorfuß auf, die im Zentrum des Ballenbereichs gegenüber den Rändern abgesenkt ist.

Vergleicht man diese Formvorgabe des Leistens mit der anatomischen Form eines Fußes im Stand und in der Fortbewegung, so ist zu erkennen, dass die im Vorfußbereich konvexe Leistensohlenform die menschliche Fußanatomie nicht widerspiegelt und spätestens unter Belastung zu einer (aus Sicht der Physiologie und Biomechanik) unerwünschten Verformung des Fußes beiträgt. Dies kann auf Dauer zu einem Funktionsverlust der Fußstrukturen führen. Dennoch wird diese konvexe Leistensohlenform bewusst oder unbewusst (aus Tradition) bei der Produktion fast aller Schuhtypen verwendet.

Das beantragte Projekt hinterfragt daher die konventionelle Leistengeometrie des Leistenbodens und untersucht gleichzeitig wichtige ergonomische Aspekte der Leistengestaltung speziell im Vorfußbereich. Es liefert die wissenschaftlichen Grundlagen und Konstruktionsrichtlinien zur Gestaltung der neuen, im Vorfußbereich planen Leistensohlenform und damit von neu aufgebauten, Belastung reduzierenden, ergonomischen Leisten sowie von darüber gefertigten Schuhen. Zudem wurde eruiert, welche Umrüstungsnotwendigkeiten im Produktionsprozess mit einer Implementierung des neuen Konzepts einhergehen.

2 Forschungsziel / Lösungsweg

Ziel des beantragten Projektes war die Erarbeitung und Erprobung einer innovativen, auf einer planen Vorfußpartie aufbauenden, ergonomischen Leistenform. Es sollten sowohl für den industriellen Schuhbau als auch für die individuelle Fertigung von Schuhen Möglichkeiten aufgezeigt werden, den notwendigen Gebrauchsgegenstand Schuh in der Form zu gestalten, dass:

- zum einen eine dauerhaft gesunderhaltende Einwirkung auf den Fuß und damit auf den gesamten Haltungs- und Bewegungsapparat gewährleistet werden kann,
- und zum anderen der Fuß in seiner Funktions- und Leistungsfähigkeit (Effizienz; im Sinne der Ergonomie) unterstützt wird.

Anhand der Untersuchungsergebnisse wurden Kriterien zur Herstellung von, auf einer planen Vorfußpartie aufbauenden, ergonomischen Leisten (und Schuhen) erstellt werden, welche den belasteten Fuß physiologisch, biomechanisch sowie anatomisch optimal repräsentieren, ihn dauerhaft gesund erhalten und die Funktionsfähigkeit hinsichtlich einer natürlichen Benutzung und Belastung des Fußes verbessern.

Im Unterschied zum konventionellen Leisten, dessen Leistensohle im Vorfußbereich konvex ausgeformt ist, besitzt die neue Leistenform eine plane Vorfußpartie, die als Fundament für eine fußergonomische Leistengestaltung dienen soll. Mittels biomechanischer und physikalischer Messungen wurden die Auswirkungen der neuen Leistenform überprüft.

Die Arbeitshypothese für das Vorhaben wurde folgendermaßen formuliert:

Wird die Leistenbodenform im Vorfußbereich plan gefertigt und wird das Leistenvolumen darüber nach anatomischen und biomechanischen Gesichtspunkten ergonomisch aufgebaut, so wirkt sich dies positiv auf die Aufrechterhaltung der Fußgesundheit (im Sinne eines verringerten Risikos zur Ausbildung eines Spreizfußes) und auf die Effizienz der Fußstrukturen (im Sinne einer Funktionsverbesserung - Ergonomie) aus.

Eine auf diesen Grundlagen aufgebaute ergonomische Leistenform verspricht gegenüber dem konventionellen Leisten eine Reihe von Vorteilen:

- Ein nach anatomischen und biomechanischen Vorgaben aufgebauter Leisten trägt zur Minimierung des Risikos zur Ausbildung oder Verschlechterung eines Spreizfußes (und in der Folge weiterer Fußerkrankungen) bei.
- Ein in dieser Weise aufgebauter ergonomischer Leisten erhöht die Effizienz der Fußstrukturen und wirkt im Sinne einer Funktions- und Leistungsverbesserung.
- Die Erkenntnisse können auf jeden Schuhtyp und auf jede Schuhgröße übertragen werden.
- Speziell im Kinderschuhbereich kann die neue Leistenform im Sinne der Gesunderhaltung frühzeitig und präventiv ansetzen.

Innovationspotential der angestrebten Forschungsergebnisse

Der Leisten ist in der Produktion das Herzstück eines jeden Schuhs. Sowohl die Schuhkonstruktion als auch die Herstellung seiner Komponenten richtet sich nach dem zugrunde liegenden Leistenmodell. Weist der Leisten bestimmte Konstruktionseigenschaften auf, werden diese zwangsläufig auf die leistenabhängigen Schuhkomponenten und in der Folge auf das fertige Schuhmodell übertragen. Das durchgeführte Projekt hinterfragte daher die konventionelle Leistengeometrie des Leistenbodens und untersuchte gleichzeitig wichtige ergonomische Aspekte der Leistengestaltung speziell im Vorfußbereich. Die im Projekt erhaltenen Ergebnisse besitzen daher eine sehr hohe wirtschaftliche Bedeutung für alle in Deutschland ansässigen Unternehmen der Branche - angefangen bei den Leistenkonstrukteuren und Designern, über die Schuhkomponentenhersteller und Zulieferindustrie bis hin zu den Schuhherstellern. Bei diesen Unternehmen handelt es sich überwiegend um KMU.

Eine im Ballenbereich nach aktuellen biomechanischen Gesichtspunkten neu konstruierte plane Auflagefläche für den Fuß und in der Folge ein darauf neu aufgebauter Leisten sind als Fundament für eine ergonomische Gestaltung des Vorfußbereichs eine Innovation in der Leisten- und Schuhproduktion.

Eine Planierung der Leistensohlenform im plantaren Vorfußbereich bedeutet ein gänzlich neuer Ansatz für die Konstruktion von Leisten und den daraus entstehenden Schuhen. Es musste nicht nur ein Teil des Leistens abgeändert, sondern durch die Berücksichtigung anatomischer und auch dynamischer Faktoren (wie Veränderung von Umfängen und neue Umfangsverteilung) eine gänzlich neue Leistengeometrie entwickelt werden. Schuhdesign sowie die einzelnen Schuhkomponenten mussten im Folgenden an die neue Leistengeometrie angepasst werden ohne sich negativ auf die Optik des Schuhs auszuwirken.

Das durchgeführte Projekt liefert die wissenschaftlichen Grundlagen und Konstruktionsrichtlinien zur Gestaltung der neuen, im Vorfußbereich planen Leistensohlenform und damit von neu aufgebauten, Belastung reduzierenden, ergonomischen Leisten sowie von darüber gefertigten Schuhen. Zudem wurde eruiert, welche Umrüstungsnotwendigkeiten im Produktionsprozess mit einer Implementierung des neuen Konzepts einhergehen. Neben den wirtschaftlichen Ergebnissen stand über eine anatomisch, physiologisch und biomechanisch verbesserte Leistengeometrie die Gesundheit und Funktionsfähigkeit des Fußes und damit die des gesamten Bewegungsapparates sowie das Komfortempfinden der Träger im Fokus gesellschaftlicher Fragestellungen dieses Vorhabens.

Lösungsweg

Das beantragte Projekt „Der ergonomische Leisten“ war in 12 Arbeitsschritte unterteilt.

- AS 1 Leistenanalyse und Herstellung von Testsohlen
- AS 2 Projektspezifische Softwareadaption für den handgeführten Fußscanner sowie projektspezifische Hard- & Softwareadaption der biomechanischen Messsensorik
- AS 3 Erfassung und Analyse anatomischer und biomechanischer Gegebenheiten, Auswirkungen und Anforderungen des Fußes an unterschiedlich gewölbte Untergründe
- AS 4 Ergebnisinterpretation und Anpassung der für die Leistenentwicklung relevanten Maße
- AS 5 Erstellung und Bewertung von Modellleisten
- AS 6 Herstellung von Testschuhen und Ermittlung von Änderungsnotwendigkeiten an Schuhbestandteilen
- AS 7 Erste Labortests, Trageproben und Problemanalysen inkl. Lösungserarbeitung
- AS 8 Erstellung einer Testkollektion unterschiedlicher Schuhtypen; Herstellung von Testschuhen für Langzeittrageproben
- AS 9 Identifikation von Anpassungs- und Umrüstungsnotwendigkeiten entlang der kompletten Fertigungslinie
- AS 10 Labor- und Feldtests einschließlich objektiver Messungen, Langzeittrageproben und subjektivem Empfinden

AS 11 Adaptionen an Leisten und Schuh

AS 12 Auswertung und Berichterstattung

3 Ergebnisse

3.1. Arbeitsschritt 1

Mittels am ISC vorhandenem Leistenscanner sowie durch die Bereitstellung von Daten durch den Projektbegleitenden Ausschuss (PA) wurden konventionelle Industrie- und Maßschuhleisten unterschiedlicher Hersteller, Schuhtypen (Kinder-, Mode-, Geschäfts-, Arbeits-, Freizeit-, Sport-, Bequemschuhe etc.), Schuhgrößen und Schuhweiten im Sinne einer Ist-Analyse systematisch erfasst und analysiert. Die hier gewonnenen Ergebnisse dienen als Referenzwerte für vergleichende Messungen sowie als Basis zum Neuaufbau eines ergonomischen Leistens. Aufbauend auf den Ergebnissen wurden konvexe sowie plane Testsohlen (ohne Schaft; dienen nur als Untergrund) für die geplanten Untersuchungen in AS 2 hergestellt.

Die Bearbeitung dieses Arbeitspaktes beinhaltete folgende Teilschritte:

- IST-Analyse bestehender Leisten
- Herstellung konvexer und planer Testsohlen

Für die IST-Analyse wurden insgesamt 62 Leisten hinsichtlich ihrer Balligkeit vermessen (31 Damenleisten, 18 Herrenleisten sowie 13 Kinderleisten). Die Leisten wurden nach Schuhtyp katalogisiert, um eventuelle Unterschiede zu erkennen.

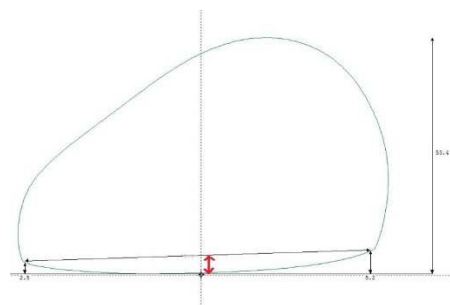


Abbildung 1: 2D-Leisten mit Balligkeit, Frontalansicht

Für die geplanten Messungen (in AP3) war es notwendig, plane sowie konvexe Testsohlen bzw. Testuntergründe herzustellen.

Die Testsohlen wurden aus einem handelsüblichen EVA-Material mit der Shore-A-Härte 40 hergestellt. Die konvexen Testsohlen waren im Vorfußbereich tiefer gelegt, so dass eine Art „Loch“ im mittleren Ballenbereich vorhanden war. Die Tiefe des freigelegten Materials betrug 3 und 6 mm. Diese Testsohlen sollten einen balligen Untergrund im Vorfußbereich imitieren. Als Referenz dienen im Vorfußbereich plane (ohne Tieferlegung) Testsohlen, die aber sonst die gleichen Materialeigenschaften aufwiesen.

Um die Testsohlen für dynamische Messungen vorzubereiten, wurde ein Schaft in Form einer Sandale mit einer Laufsohle versehen. Des Weiteren wurden Fersenkeile angefertigt, um die Veränderungen der Balligkeit bei unterschiedlich gesprengten Situationen (15 und 35 mm Absatzsprengung) zu erfassen.

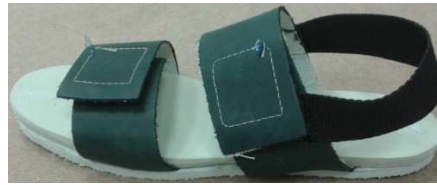


Abbildung 2: Testsohle mit Schaft und Laufsohle



Abbildung 3: Testsohle mit Schaft, Laufsohle und Fersenkeil

Die Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

3.2. Arbeitsschritt 2

Im Rahmen dieses AP wurde die in einem früheren IGF-Vorhaben durch das PFI entwickelte Beinscanner-Software projektspezifisch weiterentwickelt und angepasst, um notwendige Parameter aus den Daten des handgeführten Scanners herauslesen zu können.

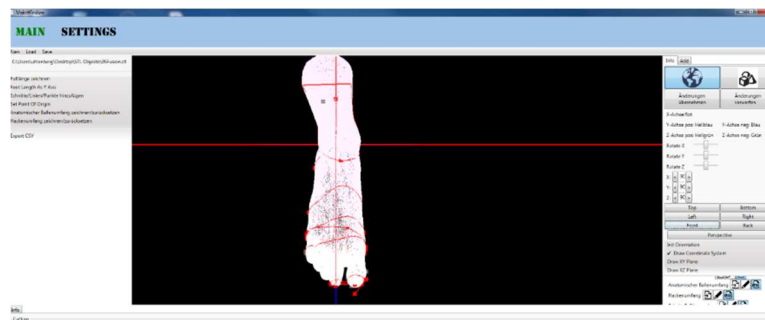


Abbildung 4: Anwendungsbeispiel der weiterentwickelten Software

Neben der Weiterentwicklung der Scannersoftware wurde auch ein spezielles Messsystem zur Vermessung der Fußquerwölbung entwickelt. Dieses System stand für die Messungen in AP3 zur Verfügung.

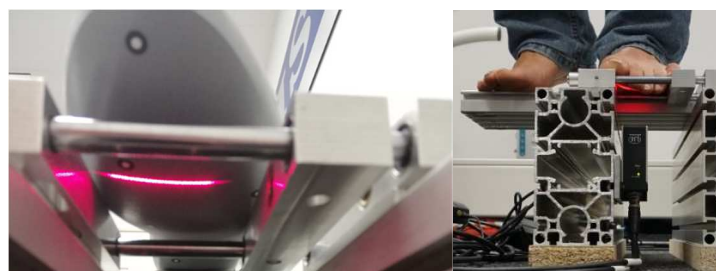


Abbildung 5: Aufbau des Messsystems

Die Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

3.3. Arbeitsschritt 3

Um die Auswirkungen der Sohlenform im Vorfußbereich zu überprüfen, wurden Messungen im Stand und Gang absolviert. Es sollten die Gegebenheiten sowie die Auswirkungen der unterschiedlich geformten Sohlen (aus AP1) auf den Fuß biomechanisch und optisch ermittelt werden. Die Messergebnisse sollten die Ergebnisse aus AP 1 ergänzen und als Grundlage für die in AP 4 anzustellenden Überlegungen zur Veränderung der Leistenmaße (hinsichtlich eines planen, ergonomischen Leistens) dienen.

Die Messungen umfassten:

- Verformungs- und Durchbiegungseigenschaften des Fußes mittels Scanner
- Plantardruckmessungen im Stand und im Gang: Neben der plantaren Druckverteilung konnte die Bodenkontaktzeit (als Maß für die Funktionsfähigkeit), sowie Reaktiveigenschaften des Fußes abgeleitet werden. Ebenso wurden die Auswirkungen der unterschiedlichen Messbedingungen auf das Gangbild evaluiert.



Abbildung 6: Versuchsdurchführung

- 3D-Scan und optische Messungen des Fußes: Der Fußscan sollte Aufschluss über die räumliche Kontur des Barfußes bei verschiedenen Auflageflächen in verschiedenen Gangphasen geben.

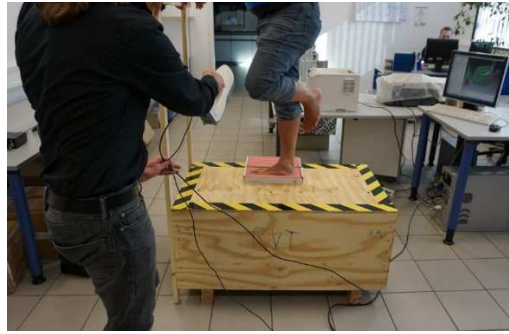


Abbildung 7: Messung mit dem handgeführten Scanner

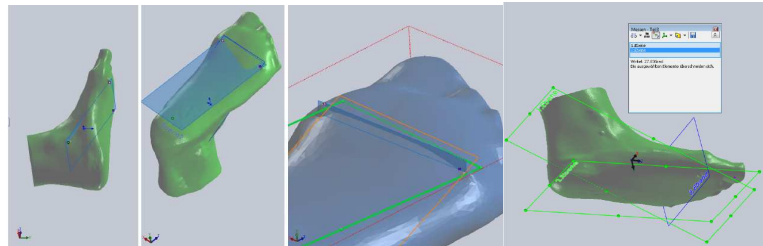


Abbildung 8: Erstellung und Lage der Ebenen im Modell für den späteren Auswertungen



Abbildung 9: Optische Messungen

Die in AP1 hergestellten Untergründe wurden anschließend hinsichtlich ihres Biegeverhalten im Rahmen von physikalischen Labortests analysiert.



Abbildung 10: Gerät zur Bestimmung der Längssteifigkeit von Sohlen (Damensandale)

Bei den Messungen wurde die für die Biegung notwendige Kraft erfasst und das Biegemoment M in Nm berechnet. Auch das Biegemoment pro Grad wurde ermittelt und wird als C in $Nm/^\circ$ angegeben.

Geprüft wurden sowohl die Herren- als auch die Damensandalen in drei verschiedenen Ausführungen hinsichtlich Balligkeit im Vorfußbereich (plan, 3mm Balligkeit, 5mm Balligkeit).

Die Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

3.4. Arbeitsschritt 4

Aufbauend auf den Ergebnissen aus AP 1 und 3 wurden zum einen konventionelle „Referenzleisten“ (mit konvexem Vorfußbereich) definiert, die als Vergleichsgrundlage dienen.

Bei der Auswahl wurde darauf geachtet, dass die Leisten „mittlere“ Balligkeiten (ca. 3 mm) aufwiesen. Da im Damenschuhbereich häufig Schuhe mit hoher Absatzsprengung zu finden sind, wurde ebenfalls ein Schuhmodell mit einer moderaten Absatzsprengung von 48 mm gewählt.

Tabelle 1: Charakteristik der Referenzleisten

Leisten	Modell	Balligkeit	Absatzsprengung
Herrenleisten	Slipper	3,7 mm	8 mm
Damenleisten 1	Halbschuh / Slipper	3,2 mm	7 mm
Damenleisten 2	Stiefel	3,5 mm	48 mm

Zum anderen wurden diese Referenzleisten entsprechend der Erkenntnisse aus AP 1 und 3 neu als Modelleleisten aufgebaut. Es wurden verschiedene Lösungsvarianten hinsichtlich planer Vorfußpartie, neuer Volumenverteilung, Geometrie, Weite und Umfang exemplarisch für verschiedene Leistenarten (für untersch. Schuhtypen, Fersensprengung, usw.) erarbeitet.

Zur Erstellung der Modelleleisten war es vorab notwendig die balligen Referenzleisten mit den plan geschliffenen Pendants zu vergleichen. Durch das Entfernen der Balligkeit am Leisten verlor der Ausgangsleisten an Volumen in unterschiedlichem Ausmaß. In Abbildung 11 ist deutlich zu sehen, dass der ballige Leisten im Vorfußbereich aus deutlich mehr Material d.h. mehr Volumen aufgebaut ist.

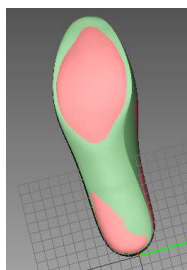


Abbildung 11: Vergleich plan zu ballig: Plantare Ansicht des Damenhalbschuhs;
rot = ballige Version; grün = Version ohne Balligkeit.

Dieses Volumen, welches der Fuß für seine natürliche Abrollbewegung benötigt, musste dem Leisten in irgendeiner Form wiedergegeben werden. Prinzipiell sind zwei verschiedene Ansätze zu

unterscheiden. Zum einen wird das durch das Abschleifen verloren gegangene Volumen durch Vergrößerung des „Schaftvolumens“ zurückgewonnen, zum anderen wird der Schaft beibehalten und durch eine geänderte „Sohengeometrie“ zurückgewonnen.

Die Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

3.5. Arbeitsschritt 5

Aufbauend auf den Ergebnissen aus AP 4 wurden erste, exemplarische Modelleisten unterschiedlicher Schuhtypen hergestellt. Hierbei wurden solche Lösungsvarianten verfolgt, die am erfolgversprechendsten schienen. Als erster Schritt erfolgte die manuelle Erarbeitung eines Modelleistens.



Abbildung 12: manueller Volumenaufbau am planen Leisten mit zur Spitze (zehenwärts) und zum Mittelfuß hinauslaufende Korkschicht

Mit Hilfe von transparenten Testschuhen, die durch das Vakuum-Tiefzieh-Verfahren am ISC hergestellt wurden, wurden die neuen Modelleisten überprüft und bewertet.



Abbildung 13: Beispiel Vergleich zwischen balligen (B) und planen (P) Schaft.

Danach wurden die Modelleisten digitalisiert und das Verhalten der Modifikationen bei der Leistengradierung überprüft. Nach abgeschlossener Modifikation wurden die digitalisierten Modelleisten mit Hilfe einer CAD-Leistenfräsmaschine hergestellt.

Die Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

3.6. Arbeitsschritt 6

Über die in AP 5 entstandenen und bewerteten Modelleisten wurden erste Testschuhpaare hergestellt. Zuvor wurden die Anforderungen hinsichtlich Modellgestaltung und Materialauswahl definiert. Wichtig war hier, dass ein und dasselbe Modell für sowohl den planen als auch den balligen Leisten verwendet werden konnte, um modellspezifische Einflüsse auf die Passform möglichst gering zu.

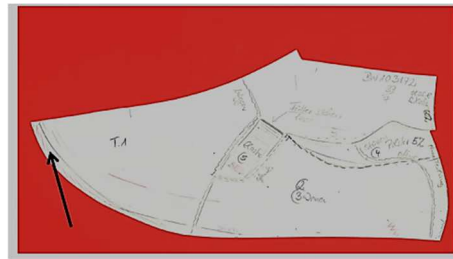


Abbildung 14: Beispiel Modell für den Damenhalbschuh / Slipper in Gr. 38.

Während der Herstellung sollte gleichzeitig eruiert werden, ob und inwiefern einzelne Schuhkomponenten an die neue Leistenform angepasst werden müssen. Die Erkenntnisse wurden in einem Anforderungsprofil zusammengestellt. Um Änderungsnotwendigkeiten vergleichend eruiern zu können und um die ersten Laboruntersuchungen in AP 7 besser interpretieren zu können, wurden zusätzlich auch schon Schuhe über die Referenzleisten hergestellt.



Abbildung 15: hergestellte Testschuhe in Gr. 38 und Gr. 43.

Die Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

3.7. Arbeitsschritt 7

Mit den in AP 6 hergestellten Testschuhen wurden biomechanische Messungen und physikalische Labortests durchgeführt und ausgewertet. Die biomechanischen Tests fanden mit den Testschuhen in Anlehnung an die Tests aus AP 3 statt, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.



Abbildung 16: Versuchsdurchführung mit den Testschuhen.

Weiterhin erfolgten erste Kurzzeittrageproben mit einer geringen Anzahl an Probanden ($n = 4$), die zusätzlich einen ersten subjektiven Eindruck angaben.

Die physikalischen Labortests prüften, ebenfalls in Anlehnung an AP 3, die Biegeeigenschaften der in AP 6 hergestellten Testschuhe.



Abbildung 17: Beispiel Biegeprüfung Damenslipper (jeweils plan und ballig)

Die Erkenntnisse und Ergebnisse aller in AP 7 durchgeführten Tests wurden entsprechend analysiert und ermöglichten die Herausfilterung von Problemen für etwaige Adaptionen an Leisten oder Schuh im Rahmen des AP11.

Die Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

3.8. Arbeitsschritt 8

Basierend auf den Ergebnissen der vorangegangenen Arbeitspakete, wurden exemplarisch 3 unterschiedliche Testschuhe nach den neuen Konstruktionsrichtlinien in verschiedenen Größen (38 Halbschuh, 38 Stiefelette, 43 Slipper) gefertigt. Für die in AS 10 unterschiedlichen Tests wurden exakt die gleichen Testschuhe zusätzlich über die in AP 4 definierten Referenzleisten hergestellt, so dass sowohl Testschuhe mit planem Vorfußbereich, als auch Testschuhe mit konventionellem konvexem Vorfußbereich für die Tests zur Verfügung standen (wie zuvor auch schon in AP 7).



Abbildung 18: Testkollektion

Die Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

3.9. Arbeitsschritt 9

Parallel zu AP 6 und AP 8 wurden im Rahmen der Testschuhherstellung Anpassungs- und Umrüstungsnotwendigkeiten entlang der kompletten Fertigungslinie für unterschiedliche Schuhtypen und Macharten überprüft und identifiziert.

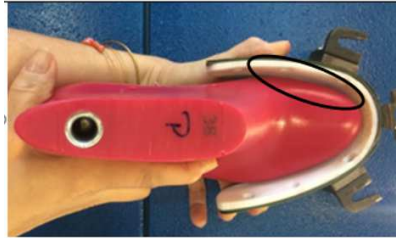


Abbildung 19: Beispiel: nicht angepasstes Spitzenband (Leerraum zwischen dem Leisten und dem Spitzenband).

Es wurde ein Kriterienkatalog erarbeitet, der ggf. notwendige Adaptionen aufführt. Dieses AP war notwendig, um eine möglichst reibungslose und unkomplizierte Implementierung des neuen Konzepts in den Produktionsprozess im Sinne einer Kosten-Nutzen-Optimierung zu gewährleisten.

Die Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

3.10. Arbeitsschritt 10

Diese Testphase lehnte sich an die Testphase aus AP 7 an und führte diese in umfangreichem Sinne mit größerer Stichprobenzahl und längerer Tragedauer (2 Wochen) fort. Die Tests wurden exemplarisch an 2 Testmodellen durchgeführt. Pro Testmodell wurden 7-8 Personen mit Schuhgröße 37/38 oder 43/44 vermessen. Das AP gliederte sich in folgende Schritte:

- a) Langzeittrageproben inkl. subjektivem Empfinden:
Jedes Testmodell (plane & konventionelle Form) wurde von 4 Personen in zweiwöchigen, verblindeten Trageproben im Cross-over-Design getestet. Neben den unter Punkt b) aufgeführten biomechanischen Tests wurde auch das subjektive Trageempfinden der Probanden erfasst.
- b) Biomechanische Tests:
Es sollten die Auswirkungen der sowohl über die neuen als auch über die „alten“ Leistenformen produzierten Schuhe (aus AP6 und 8) auf den Fuß in biomechanischer Hinsicht objektiv überprüft werden. Hierbei wurden die Tests aus AP 7 wiederholt. Um Veränderungen an Schuh und Biomechanik über die Tragedauer zu erfassen, werden Messungen zu Beginn und am Ende der Langzeittrageproben (Punkt a)) durchgeführt.
- c) Physikalische Tests:
Parallel zu der zweiwöchigen Tragezeit wurden das Abnutzungsverhalten analysiert.

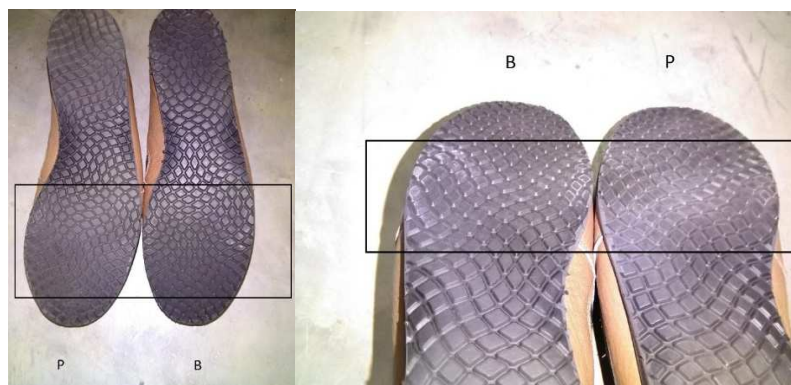


Abbildung 20: Beispiel: Abrieb nach zweiwöchiger Tragezeit (P=plan; B=ballig): Damenslipper

Die Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

3.11. Arbeitsschritt 11

Vor der Fertigung der Testkollektion wurden ein paar wenige Änderungen am Grundmodell hinsichtlich Trageeigenschaften durchgeführt. So wurde der Zwickeinschlag angepasst und das Gummiband etwas gestrafft.

Nach der Fertigung der ersten Testschuhe mussten weitere Modifikation am Modell erfolgen, wie beispielsweise eine Anpassung der Schaftlinie, eine Anpassung der Schaftstellung oder die Repositionierung des Elastikeinsatzes. Diese Änderungen wurden erst nach der kompletten Montage des Schuhs erkennbar.

3.12. Arbeitsschritt 12

Die Auswertung sowie die Dokumentation der Ergebnisse erfolgte innerhalb der einzelnen Arbeitspakete. Ziel des Arbeitsschrittes 12 war es, die Ergebnisse entsprechend für den Abschlussbericht sowie für Veröffentlichungen und für Verwendung im Rahmen von Seminaren der Forschungsstellen aufzubereiten.

4 Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse

Das beantragte Projekt hinterfragte die konventionelle Leistengeometrie des Leistenbodens und untersucht gleichzeitig wichtige ergonomische Aspekte der Leistengestaltung speziell im Vorfußbereich. Die im Projekt erhaltenen Ergebnisse besitzen daher eine sehr hohe wirtschaftliche Bedeutung für alle in Deutschland ansässigen Unternehmen der Branche - angefangen bei den Leistenkonstrukteuren und Designern, über die Schuhkomponentenhersteller und Zulieferindustrie bis hin zu den Schuhherstellern. Bei diesen Unternehmen handelt es sich überwiegend um KMU.

Das durchgeführte Projekt lieferte die wissenschaftlichen Grundlagen und Konstruktionsrichtlinien zur Gestaltung der neuen, im Vorfußbereich planen Leistensohlenform und damit von neu aufgebauten, Belastung reduzierenden, ergonomischen Leisten sowie von darüber gefertigten Schuhen. Zudem wurde eruiert, welche Umrüstungsnotwendigkeiten im Produktionsprozess mit einer Implementierung des neuen Konzepts einhergehen. Neben den wirtschaftlichen Ergebnissen steht über eine anatomisch, physiologisch und biomechanisch verbesserte Leistengeometrie die Gesundheit und Funktionsfähigkeit des Fußes und damit die des gesamten Bewegungsapparates sowie das Komfortempfinden der Träger im Fokus gesellschaftlicher Fragestellungen dieses Vorhabens. Daher sind die Forschungsergebnisse für die Schuhindustrie von hohem Interesse.