

Zusammenfassung

zu IGF-Vorhaben Nr. 18548 N

1 Thema

Optimierung von Zehenschutzkappen für Schutz- und Sicherheitsschuhe hinsichtlich Ergonomie und Schutz gegen Abtauchen

2 Berichtszeitraum

01.10.2016 - 31.03.2019

3 Forschungsvereinigung

Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V.

4 Forschungseinrichtung(en)

FE1: International Shoe Competence Center Pirmasens gGmbH

FE2: Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V.

Danksagung

Wir möchten uns hiermit für die Förderung des Forschungsvorhabens AiF-Nr. 18548 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:

- Abeba Spezienschuhausstatter GmbH, St. Ingbert
- Baak GmbH & Co. KG, Straelen
- Elten GmbH, Uedem
- Fagus-Grecon Greten GmbH & Co. KG, Alfeld
- Flecksteel Ind.de Art. Metálicos Ltda., Brasilien
- HAIX - Schuhe Prod. u. Vertriebs GmbH, Mainburg
- Inform Brill GmbH, St. Ingbert
- Louis Steitz Secura GmbH + Co KG, Kirchheimbolanden
- Th. Baltes Schuhfabrik GmbH & Co. KG, Heinsberg
- Uvex Arbeitsschutz GmbH, Fürth

Kurzzusammenfassung

Für viele Beschäftigte unterschiedlichster Branchen ist das Tragen von Schutz- oder Sicherheitsschuhen während der Arbeitszeit laut ArbSchG, Unfallverhütungsvorschrift BGV A 1 und PSA-Benutzungsverordnung zwingend vorgeschrieben. Zur Vermeidung von Fußverletzungen sind Sicherheitsschuhe u. a. mit sogenannten Zehenschutzkappen ausgestattet, die äußeren Druckeinwirkungen widerstehen und den Zehenbereich des Fußes schützen sollen. Je nach Anforderung und Notwendigkeit können diese Schutzkappen aus unterschiedlichen, jedoch allesamt biegesteifen Materialien bestehen. Für den Träger bzw. dessen Fuß haben biegefesten Zehenschutzkappen jedoch den Nachteil, dass diese, im Unterschied zu den flexiblen Vorderkappen in normalen Schuhen, dem von innen ausgeübten Druck auf die Zehen und den Vorfuß nicht nachgeben und sich so nicht nachträglich an die Fußform oder die Fußbewegungen anpassen. Sie müssen deshalb von vornherein so gestaltet werden, dass sie dem Fuß an der richtigen Stelle genügend Raum gewähren, damit das Tragen von Sicherheitsschuhen nicht zur Qual wird.

Lange Jahre stand bei der Entwicklung und Verbesserung von Sicherheitsschuhen vor allem der Schutz des Fußes vor äußeren Einflüssen im Blickpunkt. Die Auswirkungen dieser Optimierungen auf Komfort und Passform wurden dabei eher vernachlässigt und so stießen Sicherheitsschuhe oft auf mangelnde Akzeptanz. Die unzureichende Passform ist jedoch nicht der einzige Aspekt, der an der Konstruktion von Zehenschutzkappen zu beanstanden ist. Auch hinsichtlich ihrer Schutzfunktion besteht dringender Verbesserungsbedarf. Wird die Kappe z. B. durch seitliches Überrollen belastet, wirkt der Druck an deren unterem Rand, der jedoch im Unterschied zur Zehenschutzkappe nicht biegesteif, sondern aus nachgebenden Materialien besteht. Die Kappe wird in die Laufsohle hineingepresst, „taucht ab“ und die Kappenränder weichen seitlich aus.

Daher war die Erarbeitung und Erprobung von innovativen Zehenschutzkappen für Sicherheitsschuhe, die hinsichtlich

- a) Ergonomie, und
- b) Schutz gegen Abtauchen in den Unterboden

optimal gestaltet sind, Ziel des beantragten Projektes. Zum einen sollte mit Hilfe umfangreicher Vorfußvermessungen und biomechanischen Messungen eine Optimierung von Zehenschutzkappen hinsichtlich ihrer Ergonomie stattfinden. Zum anderen sollten verschiedene Kappen-Unterbau-Kombinationen getestet werden, die ein Abtauchen der Kappe bei Druckbelastungen verhindern. Gleichzeitig wurden neue Prüfmöglichkeiten entwickelt und erprobt, denen Sicherheitsschuhe künftig unterzogen werden sollten.

Anhand der Untersuchungsergebnisse wurden Kriterien zur Herstellung von Zehenschutzkappen mit den entsprechenden Eigenschaften in Form von Konstruktionsrichtlinien erstellt.

Das Ziel des Projektes wurde erreicht.

Innovationspotential der angestrebten Forschungsergebnisse

Den Herstellern von Zehenschutzkappen und Sicherheitsschuhen sowie deren Zulieferern werden erstmals statistisch gesicherte Maßangaben zur Beschreibung des Zehenbereichs der Füße zur Verfügung gestellt. Die Maßangaben basieren auf den Ergebnissen umfangreicher statischer und dynamischer Fußvermessungen und können künftig von den Herstellern zur verbesserten ergonomischen Gestaltung von Zehenschutzkappen bzw. des Zehenbereichs von Schutzschuhen herangezogen werden. Die im Projekt erwarteten Ergebnisse besitzen ein sehr hohes Innovationspotential, da bisher zumeist versucht wurde, die Kappen so allgemeinpassend wie möglich zu gestalten. Vornehmliches Ziel war es, aus Kostengründen möglichst nur wenige Kappengrößen und Formen zu entwickeln und zu verbauen, die allerdings eine möglichst große Kundengruppe abdecken können – häufig zu Lasten des Tragekomforts und somit der Tragecompliance. Das beantragte Projekt widmet sich dieser Problematik des Konfektionssicherheitsschuhs auf gänzlich neue und wissenschaftliche Weise.

Neben den ergonomischen Optimierungsvorschlägen werden parallel Konstruktionsrichtlinien neu entwickelt, die das Abtauchen der Zehenschutzkappen bei Druckbelastung in den Schuhunterbau effektiv minimieren. Dieser Sicherheitsmangel blieb bei den bisherigen Konstruktionsvorgaben völlig unberücksichtigt und konnte erst im Rahmen eines vorangegangenen IGF-Vorhabens (Nr. 17636) nachgewiesen werden. Seine Behebung stellt ebenfalls eine Innovation in der Schutzkappenkonstruktion dar, da die Abtauchproblematik momentan nachweislich bei allen Konfektionssicherheitsschuhtypen besteht. Das beantragte Projekt liefert demnach die wissenschaftlichen Grundlagen und Konstruktionsrichtlinien zur Gestaltung neuer, auf der Fußergonomie basierender, Zehenschutzkappenformen sowie die Grundlagen und Richtlinien zur Verhinderung des Abtauchens bei Druckbelastungen. Die Ergebnisse des Projektes tragen dazu bei, dass die Sicherheitsschuhindustrie nicht abtauchende, die Ergonomie berücksichtigende Zehenschutzkappen in allen Größen und Weiten mit möglichst geringem finanziellem und arbeitstechnischem Aufwand bereitstellen kann. Diese Neuerungen unterstützen in der Folge die Fußgesundheit der Arbeiter, erhöhen die Tragecompliance und tragen so in der Folge auch zu einer Entlastung der Versicherungsträger / des Gesundheitssystems bei.

Lösungsweg

Das beantragte Projekt „Optimierung von Zehenschutzkappen“ war in 12 Arbeitspakete unterteilt.

- AP 1 Projektspezifische Softwareadaption für den handgeführten Fußscanner
- AP 2 Analyse bestehender Sicherheitskappenkonstruktion hinsichtlich Ergonomie und Abtauchen
- AP 3 Prüfverfahren und Prüfkriterien zur Ermittlung des Abtauchens der Zehenschutzkappe
- AP 4 Erfassung und Analyse der aktuellen Fußmaße, speziell des Zehenbereichs, und der Fußpositionen im Arbeitsalltag
- AP 5 Durchführen von Versuchen und Prüfungen zum „Stand der Technik“
- AP 6 Untersuchung des Einflusses des Schuhsohlenaufbaus und der Zehenschutzkappe auf das Prüfungsergebnis
- AP 7 Vergleich der Parameter der bisherigen Kappenkonstruktionen mit den Fußmaßen
- AP 8 Ergebnisinterpretation und Erarbeitung von konstruktiven Verbesserungen
- AP 9 Anpassung der Schutzkappen sowie Konstruktion und Herstellung von Testkappen und Testschuhe
- AP 10 Laborprüfung der optimierten Kappen und Sicherheitsschuhe
- AP 11 Herstellung von Testschuhen und Tragetests
- AP 12 Ergebnisauswertung + Abschlussbericht

1 Ergebnisse

1.1. Arbeitspaket 1

In AP 1 wurde die in einem früheren IGF-Vorhaben durch das PFI entwickelte Beinscanner-Software projektspezifisch weiterentwickelt und angepasst, um notwendige Parameter, die nicht standardmäßig in der mitgelieferten Software berechnet werden, aus den Daten des handgeführten Scanners herauslesen zu können. Dies betraf zum einen Parameter, die durch das Scannen von Füßen erhoben werden (vor allem Längen-, Breiten-, Höhen-, Umfangsmaße und Winkel des Zehenbereichs) zum anderen auch Parameter, die die Dimensionen von Zehenschutzkappen beschreiben.

Die durch das handgeführte 3D-Messgerät erhaltenen Daten konnten mittels angepasster Software im Nachgang hinsichtlich relevanter Parameter analysiert werden (Abbildung 1).

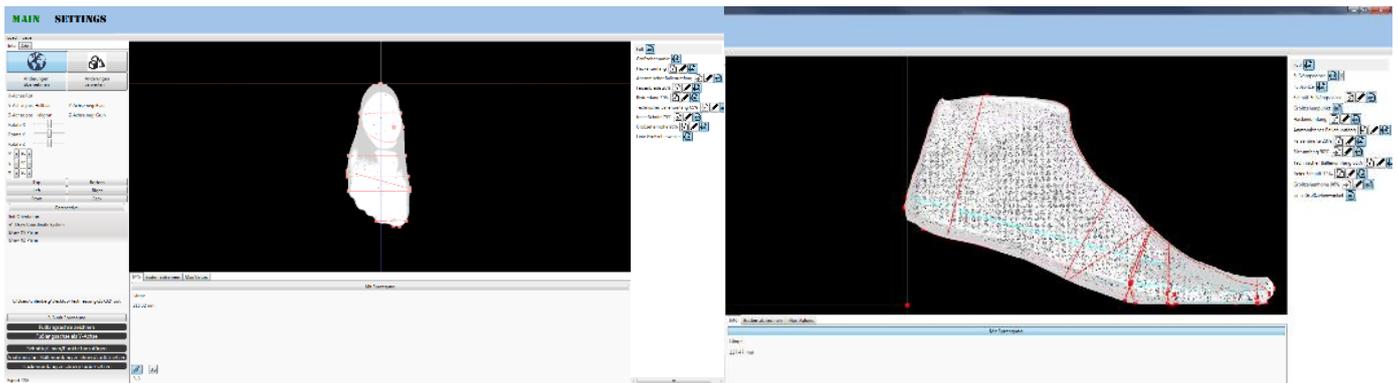


Abbildung 1: Anwendungsbeispiele der weiterentwickelten Software.

1.2. Arbeitspaket 2

In diesem AP wurden verschiedene auf dem Markt vorhandene Sicherheitsschuhe, Bodenkonstruktionen bzw. Laufsohlen und Schutzkappen katalogisiert. Aus vorhandenen Standards und Konstruktionsanleitungen (soweit u. a. über den PA zugänglich) wurden die derzeit verwendeten Parameter für Zehenschutzkappen (Maße, Materialkennwerte, etc.) zu einer Übersicht zusammengestellt. Für AP 5 und 6 waren typische Kappenmodelle, Sohlenkonstruktionen und typische Sicherheitsschuhmodelle zu definieren, bereitzustellen und entsprechend für die Laborprüfungen in AP 5 aufzubereiten sowie einzuscannen.

Es wurden insgesamt 58, vom PA zur Verfügung gestellte, Zehenschutzkappen katalogisiert und entsprechend vermessen. Es wurden verschiedene Zehenschutzkappen aus Aluminium, Stahl und Kunststoff berücksichtigt. Die Vermessung fand an den Zehenschutzkappen statt, die bei den Mustergrößen für Herren (franz. Stich 42) und Damen (franz. Stich 37) zum Einsatz kommen.



Abbildung 2: Manuelle Vermessung der Zehenschutzkappen. Die erhobenen Parameter sind

Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Beschreibung der vermessenen Parameter

Parameter	Beschreibung
Breite Brandsohle	gemessen von Ecke zu Ecke direkt über der Bördelung in der Kappe; diese Breite wurde in 4 gleiche Abschnitte (25%, 50% und 75%) unterteilt und an den Kappen markiert; dabei ist 25% medial und 75% lateral
Stärke bei 50% Breite	Materialdicke an der Kappenoberseite bei 50% Breite (hinter der Abflachung)
Höhe 25% 50% 75%	Höhe der Kappe an den angezeichneten Punkten; gemessen zur Auflageebene unter der Bördelung
Tiefe 25% 50% 75%	mit Messgerät; Höhe der Messung bei 11mm an entsprechend markierten Unterteilungen; gemessen von Kappenkante nach distal bis zum inneren Kappenbogen
Gewicht	Gewicht der Kappe

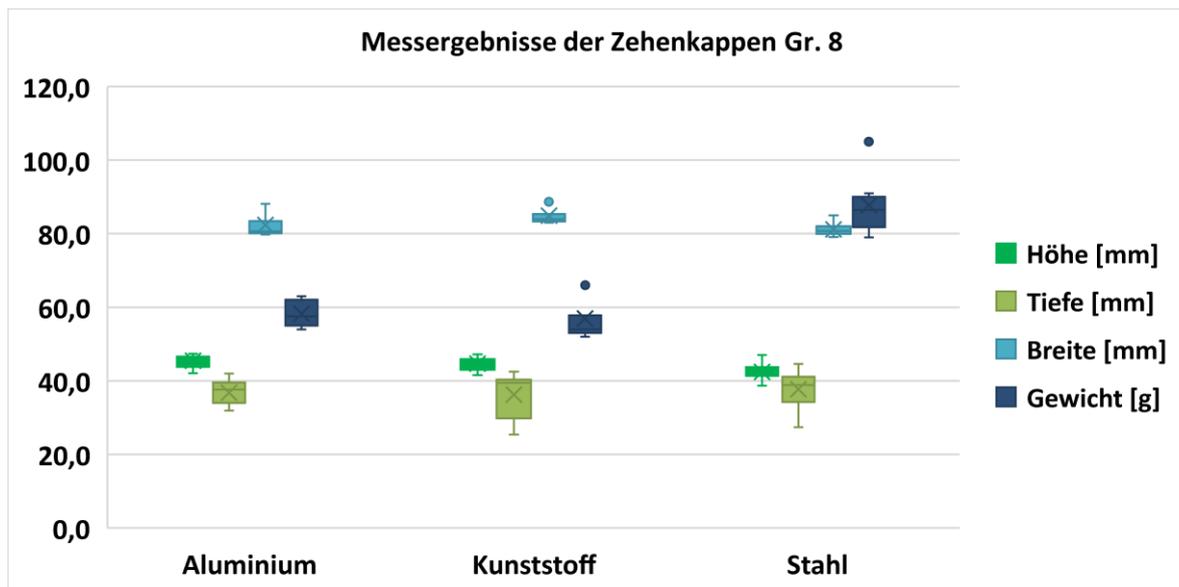


Abbildung 3: Vergleich der Messergebnisse für Gr. 8 der Zehenschutzkappe.

1.3. Arbeitspaket 3

In AP 3 wurden neue Prüfverfahren, -methoden und -kriterien zur Bestimmung des Abtauchens der Zehenschutzkappe im Schuhunterbau diskutiert und hinsichtlich der Gütekriterien erprobt. Um eine wissenschaftliche Basis für die Untersuchung der Abtauchproblematik der Zehenschutzkappe zu schaffen, wurden im AP 3 die Kriterien zur qualitativen Bestimmung des Abtauchens festgelegt. Aufgrund dieser Ergebnisse wurde ein Versuchsaufbau in Anlehnung an DIN EN ISO 20344 zur Bestimmung des Abtauchens der Zehenschutzkappen ausgearbeitet. Darüber hinaus wurden auch Versuche mit der Überrollprüfmaschine durchgeführt, um die Gefahrensituation des „Überrollens“ mit zu bewerten. Um ein strukturiertes Vorgehen bei den Versuchsdurchführungen zu gewährleisten, wurde ein entsprechender Versuchsplan erstellt.

Bei der Auswahl eines Messverfahrens zur Messung des Abtauchverhaltens an Schuhen bzw. Zehenschutzkappen wurden zwei Messprinzipien gemeinsam mit den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses ausgewählt. Hier sollte ein kompaktes Messsystem zum Anbringen im Schuh bzw. unter der Schuhsohle entstehen welches mit einfachen Mitteln ausgewertet und bedient werden kann. Des Weiteren sollten mindestens drei Messpunkte unter der Kappe erfasst werden, um Verschieben bzw. Schrägstellen der Kappen während des Versuchs zu erfassen.

Das erste Messsystem verwendete Hall-Sensoren, welche in die Schuhsohle direkt unter der Zehenschutzkappe eingebracht wurden (Abbildung 4).



Abbildung 4: Anbringen des Messsystems im Schuh.

Bei dem zweiten System zur Messung des Abtauchverhaltens der Zehenschutzkappe im Schuhunterbau wurden resistive Wegaufnehmer verwendet (Abbildung 5).



Abbildung 5: links: CAD-Konstruktion der Haltevorrichtung von oben; rechts: Ansicht von unten.

1.4. Arbeitspaket 4

In diesem zu AP 3 parallellaufenden AP wurden zielstellungsrelevante Vorfuß- und Zehenmaße für eine Kappenkonstruktion ermittelt, definiert und festgelegt. Dies geschah zum einen auf Basis bereits vorhandener Fußscans des IGF-Projekts Nr. 14993. Zum anderen wurden diese durch Vorfußscans aus anderen Aufnahmepositionen ergänzt. Weiterhin sollten biomechanische Messungen zur Einschätzung der Fußpositionen im Arbeitsalltag sowie zur Einschätzung der plantaren Druckverteilung vor allem im Zehenbereich erhoben werden.

Die Messungen umfassten:

- Bestimmung der Zehenfrontkontur, des Ballenquerschnitts und der Großzehenhöhe aus IGF-Projekts Nr. 14993

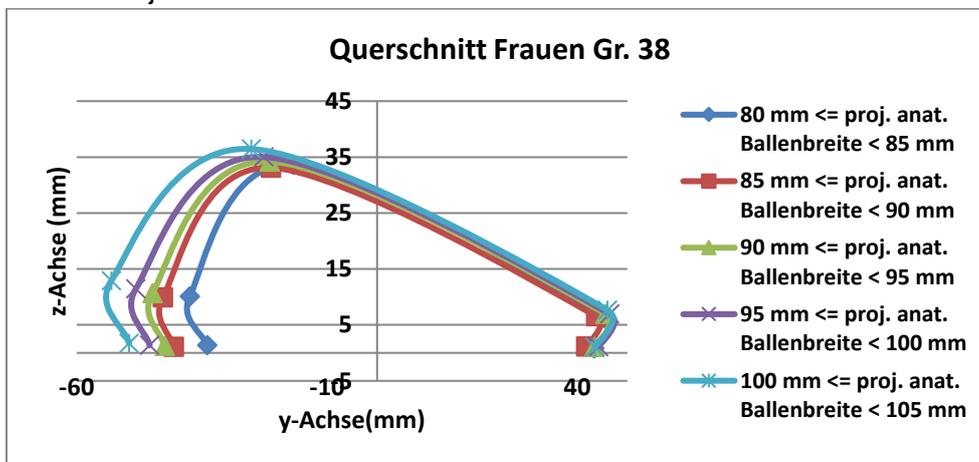


Abbildung 6: Ballenquerschnitt der Frauen bei unterschiedlichen Ballenbreiten in Gr. 38.

- Ergänzende Scans sowie biomechanische Messungen
 - Zehenfrontkontur, Ballenquerschnitt, Querschnitt am Kappenrand

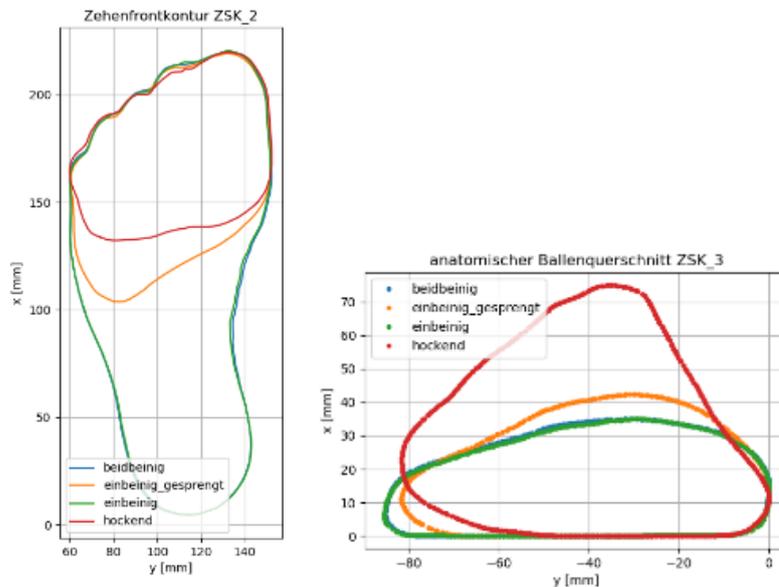


Abbildung 7: Beispiele für ergänzende Scans; links: Zehenfrontkontur in den unterschiedlichen Messbedingungen; rechts: Ballenquerschnitt.

- pedobarographische Messung mittels Pedar-Druckmesssohlen.
Dabei wurden folgende Parameter herangezogen
 - Maximaldruck, mittlerer Druck, Kontaktfläche und Maximalkraft

Im AP 4 wurden Daten an realen Füßen ermittelt, die die Vorgaben für die ergonomische Zehenschutzkappe liefern sollten. Unter deren Berücksichtigung wurde in den nachfolgenden Arbeitspaketen Schutzkappen entwickelt, die den (physiologischen und anatomischen) Ansprüchen der Füße gerecht werden und dabei alle Zehen maximal möglich schützen. Die Messungen bestätigten eine große Variation bei den Zehenfrontkonturen, die jeweils mit den drei geläufigsten Fußformen (griechischer, römischer bzw. quadratischer Fuß) typisiert werden konnten.

1.5. Arbeitspaket 5

Im AP 5 wurden die in AP 3 neu entwickelten Prüfverfahren und -kriterien an konventionellen Sicherheitsschuhen angewandt. Mithilfe dieser Messdaten wurden zum Ende dieses AP Kraft-Weg-Diagramme erstellt, die einen Aufschluss über das Einsinkverhalten der unterschiedlichen Zehenschutzkappen geben. Diese Daten dienen als Vergleichswerte für die Prüfungen der Neuentwicklungen.

Um das Abtauchen der Zehenschutzkappen im Schuhunterbau nachzustellen, wurde ein Verfahren zum Prüfen der Schuhsohlen entwickelt. Dabei wurde ein Prüfstempel mit einem Durchmesser von 10 mm im Bördelungsbereich des Schuhs angebracht (siehe Abbildung 8). Dieser Stempel wurde zunächst mit einer Vorlast von 20 N beaufschlagt. Nach dem Aufbringen der Vorlast, wurde der Abstand des Prüfstempels zur Bodenplatte, auf der der Prüfling steht, gemessen. Die Kraft wurde von 20 N auf 400 N erhöht, damit der Prüfstempel im Schuhunterbau abtauchen konnte. Die Differenz der beiden gemessenen Längen (20 N und 400 N) ergab dementsprechend den Wert, um welchen der Prüfstempel im Schuhunterbau abgetaucht war.



Abbildung 8: Bestimmung des Abtauchverhaltens.

Bei den Abtauchversuchen mit verschiedenen Schuhunterbauten von unterschiedlichen Sicherheitsschuhhersteller konnte ein durchschnittliches Absinken des Prüfstempels um ca. 40 %, bezogen auf die Anfangsdicke des Prüflings festgestellt werden.

1.6. Arbeitspaket 6

Um eine erfolgreiche Optimierung der Sicherheitsschuhe und der Zehenschutzkappen hinsichtlich des Abtauchens vornehmen zu können, wurden in diesem AP die verschiedenen Materialien, die zur Verwendung des Schuhsohlens aufbau herangezogen werden, in unterschiedlichen Härtevariationen als Einzelkomponenten geprüft. Darüber hinaus wurden Versuche mit unterschiedlichen Bördelungen der Zehenschutzkappen durchgeführt, um das Einsinkverhalten von unterschiedlichen Bördelungsgeometrien in Kombination mit verschiedenen Materialien zu erhalten.

Die Prüfvorrichtung aus AP3, inklusive Sohlenmaterial und Zehenschutzkappe, wurde in einer Universalprüfmaschine montiert (siehe Abbildung 9). Zum Aufnehmen der Daten wurde ein PC mit einer entsprechenden Auswertesoftware verwendet.

Für die Messungen wurden die Zehenschutzkappen ca. 20 mm oberhalb der Bördelung abgetrennt, um eine gleichmäßige, horizontale Kraftverteilung zu gewährleisten

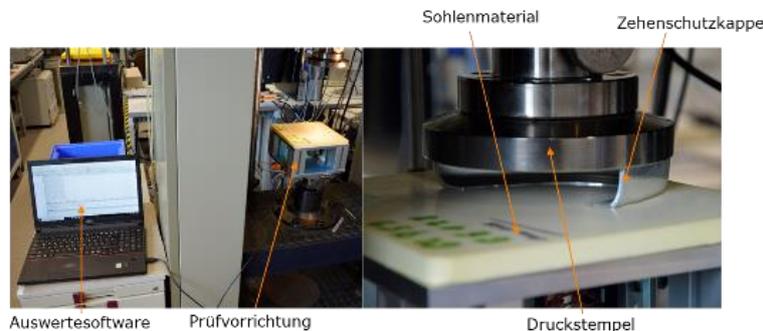


Abbildung 9: Versuchsaufbau der zur Bestimmung des Abtauchverhaltens.

Bei den Versuchen wurde festgestellt, dass mit zunehmender Bördelungsbreite auch mit einem reduzierten Absinken der Kappe im Schuhunterbau zu rechnen ist.

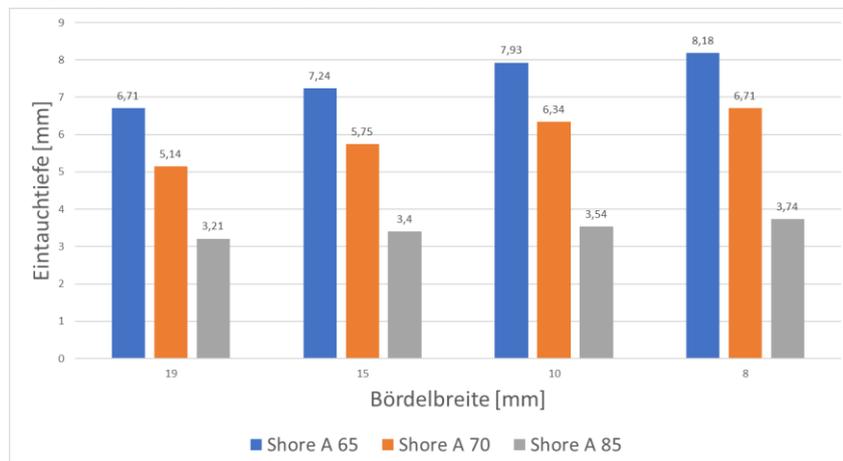


Abbildung 10: Abtauchverhalten bei verschiedenen Bördelungen und Shorehärten (3D-gedruckte Kappen).

Die Versuche belegten, dass durch eine Verbreiterung der Bördelung der Zehenschutzkappen und durch eine Härteanpassung der Materialien der Schuhsohle eine Reduzierung des Eintauchverhaltens der Zehenkappe in den Schuhunterbau erfolgte.

1.7. Arbeitspaket 7

In AP 7 wurden die Ergebnisse aus AP 2 und AP 4 miteinander verglichen und miteinander in Verbindung gebracht. Es wurde überprüft inwieweit bestehende Kappenformen mit den erhobenen Vorfuß- und Zehenmaßen übereinstimmen. Dieser Vergleich erfolgte, an den in AP 4 ermittelten und festgelegten

Zehenformtypisierungen, anhand der Ergebnisse der biomechanischen Überprüfungen sowie anhand der Form- und Belastungsveränderungen des Fußes in arbeitstypischen Fußpositionen.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Mindestinnenlänge für Zehenschutzkappen nach DIN EN ISO 20345 und der Innenlänge plus 10mm Schubraum aus den Fußmessungen aus dem IGF Projekt Nr. 14993

Schuhgröße [franz.Stich]	Innenlänge [mm] nach DIN EN ISO 20345	Differenz Spitzenpunkt zu KZB + Schubraum [mm] Herren	Differenz Spitzenpunkt zu KZB + Schubraum [mm] Damen
36	34	--	
37 38	36	99,3	98,2
39 40	38	104,3	103,2
41 42	39	109,9	108,0
43 44	40	115,0	113,8
45	42	--	--

Zur Berechnung dieses Parameters wurde die Länge zwischen dem proximalsten MFK (Kleinzehenballen) bis zum Spitzenpunkt, plus einem 10mm Schubraum, herangezogen.



So ergab sich bspw. bei Schuhgröße 42 (franz. Stich):
 Spitzenpunkt – KZB + Schubraum
 $266,8\text{mm} - 166,9\text{mm} + 10\text{mm} = 109,9\text{mm}$

Abbildung 11: Berechnung der Differenz zwischen dem Spitzenpunkt zum KZB + 10 mm Schubraum.

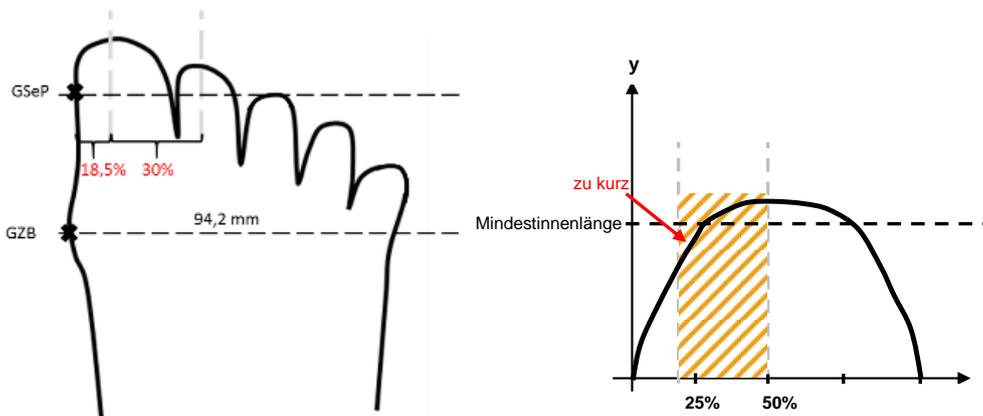


Abbildung 12: links: Überlegungen Mindestinnenlänge. GSeP: Großzehenseitpunkt. GZB: Großzehenballen; rechts: Draufsicht Zehenschutzkappe. Überlegungen Mindestinnenlänge, auf Zehenkappe übertragen. Orange gestrichelter Bereich muss Innenlänge haben (18,5-48,5% von medial).

Abgeleitet von diesen theoretischen Überlegungen wurden folgende Maßgabe für die Form der neuen, ergonomischen Zehenkappe getätigt.

Die Länge der Kappe orientiert sich am vordersten Punkt der Zehen 1 bis 3 (ausgeweiteter Bereich). Damit sollte eine Kappenform die unterschiedlichen Anatomien der Vorfußformen (ägyptisch - griechisch – römisch) berücksichtigen. Durch die „quadratische“ Form des „römischen Fußes“ ist dies gewährleistet, da er alle anderen Formen beinhaltet. Die Mindestinnenlänge sollte daher nicht nur entlang der Prüfachse erfüllt werden, sondern auch in einem medialen Bereich zwischen der Großzehe und der 2. Zehe. Zu diesem Zweck wurden die Werte aus dem Fußreport (Spitzenpunkt Großzehe, Spitzenpunkt 2. Zehe) herangezogen. Für

Männer Gr. 42 ergab dies einen Prüfbereich von 18,5 – 48,5 % der Zehenkappenbreite von medial aus (siehe Abbildung 12).

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Mindestresthöhen für Zehenschutzkappen nach DIN EN ISO 20345 und der mittleren Zehenhöhen aus den Fußmessungen aus dem IGF Projekt Nr. 14993

Schuhgröße [franz. Stich]	Mindestresthöhe [mm], nach DIN EN ISO 20345	Mittelwert Großzehenhöhe Damen [mm], Projekt Nr. 14993	Mittelwert Großzehenhöhe Herren [mm], Projekt Nr. 14993	Mittelwert Großzehenhöhe Damen [mm], Ergänzende Scans	Mittelwert Großzehenhöhe Herren [mm], Ergänzende Scans
36	12,5	18,2	19,5	21,9	-
37	13	18,3	19	20,8	-
38		18,7	19,5	18,8	-
39	13,5	18,9	20,1	27,0	-
40		19,1	20,1	22,3	-
41	14	19,5	20,4	26,8	-
42		19,7	20,8	-	26,5
43	14,5	19,5	21,1	-	27,2
44		19,7	20,9	-	-
45	15	21,5	21,1	-	-
46		20	21,4	-	-
47		-	22,1	-	-

1.8. Arbeitspaket 8

In AP 8 wurden alle Ergebnisse der vorherigen APs, sprich aller durchgeführten Prüfungen und Vergleiche, interpretiert. Ziel dieses APs war die Erarbeitung konstruktiver Verbesserungsvorschläge und Lösungsmöglichkeiten hinsichtlich Ergonomie und Abtauchen. Als Resultat dieses APs sollten Richtlinien

- zur Konstruktion und Verpassung zehenformgerechter Kappen,
- zur Konstruktion abtauchsicherer Kappenformen sowie
- zu optimalen, abtauchsicheren Kappen-Unterbau-Kombinationen

abgeleitet werden. Die Teilaspekte Abtauchschutz und ergonomische Gestaltung waren dabei gleichermaßen zu berücksichtigen; Lösungsvarianten für einen Teilaspekt sollten den anderen nicht ausschließen.

Sollen alle Zehen durch die Schutzkappe abgedeckt werden, muss die Innenlänge gegenüber der bestehenden Norm „deutlich“ verlängert werden. Gleichzeitig muss den unterschiedlichen Zehenkonturformen Rechnung getragen werden, was eine Veränderung der Kontur der Kappe als auch eine Änderung der Messvorschrift für die Bestimmung der Innenlänge nach sich zieht.

Ausgangssituation für die Festlegung einer „neuen“ (anatomisch, physiologischen) Schutzkappe war der status quo (siehe Abbildung 13, „NORM“). Da der (normkonforme) geschützte Bereich nicht einmal alle Zehen abdeckt, wurde im ersten Paket die Länge der Kappe so weit vergrößert, dass ein Abrollen des Fußes in den Zehengrundgelenken noch möglich bleibt. Der Vergleich mit einem realen Beispielfuß (siehe Abbildung 13, real Beispiel MTK) liefert eine gute Übereinstimmung mit den theoretischen Vorgaben – real bedeutet dabei: MTK wurden ertastet und die proximalen Zwischenräume zwischen den Zehen (als Anhaltspunkte für die Zehenlänge) markiert.

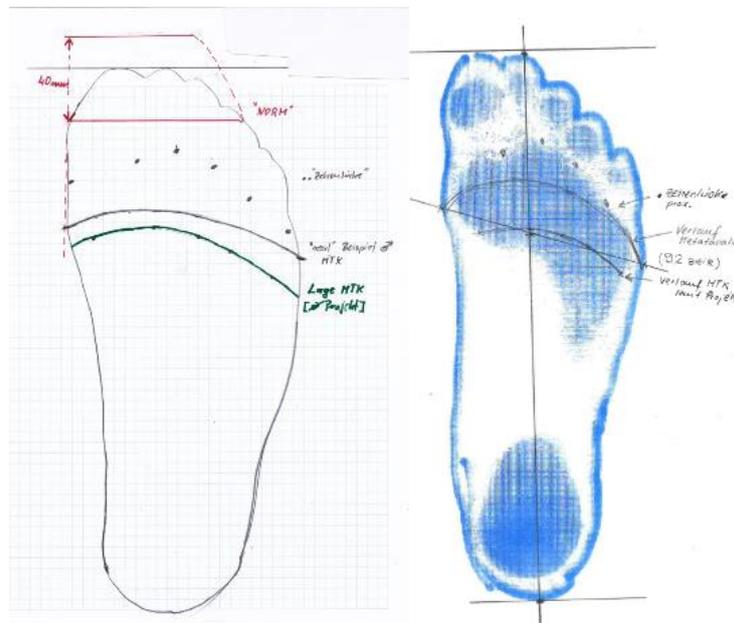


Abbildung 13: Links: Skizze zur Entwicklung der Schutzkappendimensionierung. Rechts: Beispiel für die "Geometrie" der MTK bei einem realen Damenfuß.

Tabelle 4: Angestrebte Dimensionierungen

Position	Dimension	Begründung
	min. 10 mm Platz vor den Zehen I, II und III	„Geradestellung“ der Groß- und Kleinzehe
		Ausrichtung entspricht der Abrollung des Fußes
Breite	wie Ballenbreite	Keine Eingrenzung der Bewegungsweite
Tiefe	bis Grundgelenke der Zehen I und V (90-110 mm)	Schutz der „ganzen“ Zehen
Höhe	min. 15 mm höher als ermittelte Zehenhöhe	Bewegungsmöglichkeit der Zehen
	Asymmetrischer Verlauf (entsprechend Zehen- und MTK-Höhe)	optisches Zugeständnis
	Nach proximal ansteigend Resthöhe (Minimum Zehenhöhe)	Zehen sollen nicht gequetscht werden

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

1.9. Arbeitspaket 9

In AP 9 wurden die in AP 8 erarbeiteten Konstruktionsrichtlinien in Funktionsmodellen umgesetzt. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden die Kappen entsprechend verändert, umgearbeitet oder neu aufgebaut und anschließend digitalisiert. Insgesamt wurden für die nachfolgenden APs, sprich für Laborprüfungen und Tragetests, 34 Paar Kappen in unterschiedlichster Ausführung (Form, Kombinationsmöglichkeiten usw.) benötigt. Dies waren:

- ergonomische Kappen in verschiedenen Ausführungen.
- spezielle Kappen für optimierte Kappen-Unterbau-Konstruktion zum Schutz gegen Abtauchen.
- ergonomische Kappen die mit dem in b) beschriebenen optimalen Schuhunterbau kombiniert werden sollen.

Weiterhin wurden mit den neu hergestellten Kappen zuerst wenige Paare an Sicherheitsschuhen gefertigt. Die hergestellten Testschuhe werden in den nachfolgenden APs für die Laborprüfungen sowie für die Messungen in Rahmen der Tragetest benötigt.

Die Modellerstellung der neuen, ergonomischen Kappe unterteilte sich in zwei Modelle. Das erste Modell (idealisierte Kappe) wurde auf Grundlage der wünschenswerten Parameter für eine Zehenschutzkappe erstellt. Anschließend wurde ein Testschuh darüber gefertigt (Abbildung 14).



Abbildung 14: links: Modell 1 (idealisierte Karbonkappen); rechts: fertiger Testschuh.

Bei dem zweiten Modell (optimierte Kappe) handelte es sich um eine Version, bei der ein bestehendes Kappen-Leisten Modell nach ergonomischen Gesichtspunkten modifiziert wurde (Abbildung 15). Anschließend wurde mit Hilfe des PA ein Schuh darüber gefertigt (siehe Abbildung 16).

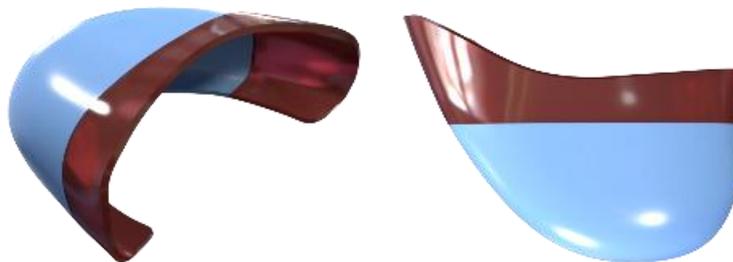


Abbildung 15: Modell 2 (optimierte Kappe): Der Verlauf der Kappe musste verlängert und in Richtung Kleinzehe angepasst werden. Veränderungen zur Ursprungskappe (hellblau) sind in Rot dargestellt.



Abbildung 16: Vergleich der Zehenschutzkappen. Links: neue ergonomische Kappe. Rechts: alte Kappenform.

Für eine optimierte Kappen-Unterbau-Konstruktion wurden zunächst die vorhandenen verstärkenden Unterbau-Konstruktionen am Markt betrachtet. Anschließend wurde eine vorhandene Methode zur Verstärkung des Schuhunterbaus gesucht, welche auch noch am bereits komplett vorhandenen Schuh adaptierbar war. Aus diesem Grund wurde eine Verstärkung mit Stiften unterhalb der Zehenschutzkappe im Unterbau des Schuhs ausgewählt. Zur Vorbereitung der Prüflinge wurde das gesamte Schuhvorderteil, bündig hinter der Zehenschutzkappe abgetrennt und Metallstifte in Vertiefungen an der unteren Seite des Schuhs eingesetzt (Abbildung 17). Diese Vertiefungen müssen unter der Bördelung der Zehenschutzkappe sein, um ein Abtauchen im Belastungsfall erheblich zu erschweren.



Abbildung 17: links: Zehenschutzkappe mit Metallstiften zur Unterbauverstärkung; rechts: Zehenschutzkappe mit verstärktem Unterbau.

Bei der Zehenschutzkappe mit verstärktem Unterbau ist beim Erreichen der Prüflast ein deutlich geringeres Eintauchen im Schuhunterbau festzustellen. Der zurückgelegte Weg von nur ca. 10 mm bedeutet eine Reduzierung von ca. 30% des Eintauchens.

1.10. Arbeitspaket 10

In AP 10 wurden mit den in AP 9 hergestellten Testschuhen mit neuen Kappen-Unterbau-Konstruktion sowohl Laborprüfungen nach DIN EN ISO 20344 durchgeführt. Weiterhin wurden diese nach den in AP 3 und 5 neu entwickelten Prüfverfahren zur Bestimmung des Abtauchens der Zehenschutzkappe im Schuhunterbau geprüft und mit den Referenzmessungen aus AP 5 verglichen. Diese Daten wurden dazu genutzt, die neu entwickelten Prüfverfahren noch mal zu überprüfen und wenn nötig Anpassungen vorzunehmen.

Die Druckprüfung wurde mit den neu entwickelten, ergonomischen Zehenschutzkappen (Modell 2: Optimierte Kappe) mit breiterer Bördelung aus Aluminium durchgeführt (siehe Abbildung 18). Nach der Kontrolle nach der Prüfung wurde festgestellt, dass die Höhe der Plastilinzylinder sich über der Norm vorgeschriebenen Höhe befindet. Des Weiteren wurden nach der Prüfung auch keine weiteren Auffälligkeiten, wie z.B. Risse in der Zehenschutzkappe festgestellt. Die Druckprüfungen nach Normvorgaben haben die Zehenschutzkappen damit erfüllt.



Abbildung 18: links: Zehenschutzkappen nach Druckprüfung; rechts: Verbaute Zehenschutzkappe nach Druckprüfung.

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

1.11. Arbeitspaket 11

In AP 11 wurden zum einen Sicherheitsschuhe mit den herkömmlichen Zehenschutzkappen als Referenzschuhe hergestellt, zum anderen wurden Schuhe der gleichen Modelle mit den neuen Kappen bzw. der neuen Kappen-Unterbau-Konstruktion hergestellt. Alle Schuhvarianten sollten durch Ganganalysen sowie in Trageproben evaluiert und miteinander verglichen werden.

Mit Hilfe des PAs wurden normkonforme Testschuhe mit den ursprünglichen Zehenschutzkappen als Referenzschuhe hergestellt. Abbildung 19 zeigen die unterschiedlichen Kappen in einen Schuh eingebaut. Durch die stark abweichende Dimensionierung der ergonomisch idealisierten Kappe weichen die Schaft- und Sohlenkonstruktion von der, der beiden anderen Schuhe ab (vgl. AP 9).



Abbildung 19: Vergleich der Testschuhe mit idealisierter Kappe (rechts) und angepasster Kappe (links).

Insgesamt wurden 4 Probanden aufgrund des kleinen Größenspektrums der Schuhe vermessen. Es wurden typische Bewegungen, wie Gehen, Sitzen, Hocken/ Knien sowie Treppensteigen durchgeführt (vgl. Abbildung 20).



Abbildung 20: Testablauf Hocken und Gehen.

Für die Erhebung ergonomischer Merkmale nach der DIN EN ISO 20344 wurde jeder Schuh für 5 min bei einer vorgegebenen Geschwindigkeit von 4,5 km/h auf einem Laufband (zebris Medical GmbH, Isny, Deutschland) getragen.

Folgende Parameter wurden erhoben:

- Druckverteilung, Kraftverlauf im Vorfuß

Im Anschluss wurden die in der EN ISO 20344 vorgegebenen Fragen beantwortet.

Abbildung 21 zeigt die Auswertung des Fragebogens für das subjektive Trageempfinden.

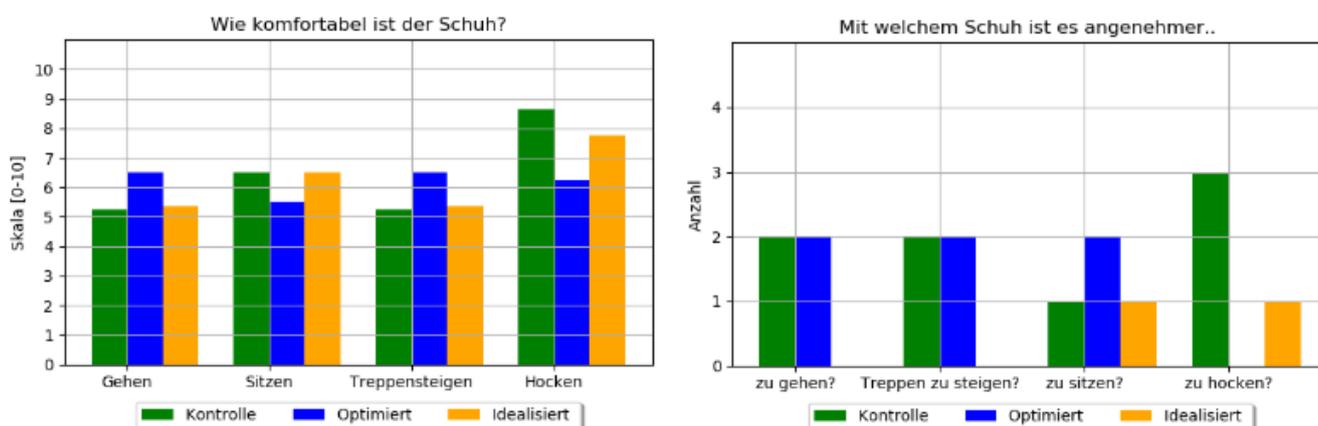


Abbildung 21: Auswertung über Komfortempfinden.

Bei der Frage nach dem jeweiligen Komfort des Schuher lassen sich keine genauen Aussagen treffen. Bei den Tätigkeiten Gehen und Treppensteigen schneidet der Schuh mit der ergonomisch optimierten Kappe am besten ab. Lediglich beim Hocken konnte sich der Kontrollschuh im Vergleich zu den Restbedingungen etwas deutlicher von den beiden Vergleichsschuhen abheben (vgl. Abbildung 21). Alle Probanden gaben an, dass ein Unterschied zum vorherigen Schuh spürbar war.

Nach Auswertung der Tragetests kann festgehalten werden, dass vor allem die Schaftkonstruktion noch an die neue ergonomisch optimierte Kappen-Leistenform angepasst werden muss. Der Leisten sowie die Schaft- und Sohlenkonstruktion müssen alle aufeinander abgestimmt werden, um ein optimales Ergebnis erreichen zu können.

1.12. Arbeitspaket 12

Im letzten AP wurden die Forschungsergebnisse von den beiden Forschungsstellen zusammengefasst, da die Auswertung sowie die Dokumentation der Ergebnisse innerhalb der einzelnen Arbeitspakete erfolgten. Ziel des Arbeitspaketes 12 war die Aufbereitung der Ergebnisse für Präsentationen und Hand-Outs, für Veröffentlichungen und für Verwendung im Rahmen von Seminaren der Forschungsstellen, welche zum Ergebnistransfer genutzt werden.

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

Das beantragte Projekt hatte die Erarbeitung und Erprobung von innovativen Zehenschutzkappen für Sicherheitsschuhe, mit verbesserter Konstruktion hinsichtlich Ergonomie und Schutz gegen Abtauchen in den Schuhunterbau zum Ziel.

Im Rahmen des Projektes konnte gezeigt werden, dass sich bestehende Zehenschutzkappen ergonomisch abgeändert werden können. Hierzu wurden zwei Modelle hergestellt. Modell 1 entsprach einer idealisierten Kappe hinsichtlich der Ergonomie, auf Grundlage dessen ggf. eine Anpassung der Normen diskutiert werden könnte. Modell 2 bestand aus einer Modifikation eines bestehenden Leisten-Kappen Modells, welches mit weiterem Entwicklungsaufwand, interessierter KMU, umgesetzt werden kann. Ebenso konnte gezeigt werden, dass durch die Verbreiterung der Bördelung ein gewisser Abtauchschutz garantiert wird.

Die Ergebnisse des Projekts führen zu einer entscheidenden Produktverbesserung und versprechen den deutschen Sicherheitsschuhherstellern (vorwiegend KMU) einen deutlichen Wettbewerbsvorteil gegenüber Billiganbietern. Wie geplant konnten die Projektergebnisse im Normungsausschuss platziert werden, um möglicherweise als neue Prüfmöglichkeiten in die bestehenden Normen und Standards, als zusätzliches Sicherheitskriterium, mit aufgenommen zu werden. Profiteure der Projektergebnisse sind neben den Herstellern, Zulieferern und Fachhändler zudem auch alle Firmen, die ihren Mitarbeitern Sicherheitsschuhe bereitstellen müssen. Zum einen sorgt die bessere Passform der Kappen für eine höhere Akzeptanz, die Bereitwilligkeit der Firmenmitarbeiter zum Tragen der Schuhe steigt und das Unfallrisiko durch Nichttragen der Sicherheitsschuhe wird objektiv vermindert. Zum anderen wird das Unfallrisiko durch Beseitigung des Schwachpunkts „Abtauchen“ nochmals erheblich verringert.

Eine nach systematisch erhobenen ergonomischen Gesichtspunkten gestaltete Zehenschutzkappe, die zusätzlich bei Druckbelastungen nicht in das darunter liegende Material eintaucht, gibt es bis dato noch nicht. Deutschen Sicherheitsschuhherstellern wird es ermöglicht, frühzeitig die dargestellten Probleme zu lösen und sich so von Konkurrenten aus dem Ausland durch Innovation und Technik abzuheben, um Marktanteile zu halten und weiter auszubauen. Gerade in Zeiten, in denen vermehrt Discounter und Baumärkte persönliche Sicherheitsausrüstungen, insbesondere Arbeitsschuhe aus fernöstlicher Produktion anbieten, können deutsche Hersteller durch bessere technische Ausstattung und höhere eingehaltene Sicherheitsstandards überzeugen. Frühere Tests belegen, dass deutsche Marken-Sicherheitsschuhe den Billigprodukten überlegen sind. Dieses positive Image würde durch ein Plus an Ergonomie und Schutzwirkung dank der verbesserten Zehenkappen weiter ausgebaut und gestärkt. Die Hersteller von Sicherheitsschuhen können mit Hilfe der Projektergebnisse ihren Kunden optimierte Produkte anbieten, die nicht nur besser passen, sondern auch sicherer schützen. Die Sicherheitsschuhe mit den neuen, ergonomischen Zehenkappen können als besonders hochwertige Produktklasse in einem eigenen Preissegment angeboten werden. Die hinsichtlich Ergonomie und Schutzwirkung verbesserte Konstruktion liefert wirksame Verkaufsargumente für eine höhere Preisklasse.