

Aus der Arbeit des Fachausschusses Persönliche Schutzausrüstungen (PSA)

Das Sachgebiet „Fußschutz“ im Fachausschuss „Persönliche Schutzausrüstungen“ (FA „PSA“) informiert:

Neueste Forschungsergebnisse zum Thema „Fersenbeinfrakturen“

Die Statistik der DGUV zeigt seit Jahren, dass die meisten neuen Unfallrenten durch Fuß- und Knöchelverletzungen verursacht werden. Einen wesentlichen Schwerpunkt bilden die Fersenbeinbrüche. Bereits 2003 wurde im Rahmen der Aktion „Sicherer Auftritt“ von der DGUV ein Forschungsvorhaben „Fersenbeinbrüche“ (DGUV FFFF0221) genehmigt. Neben einer Literaturliteraturauswertung und dem Studium zahlreicher Unfallakten wurden umfangreiche Sprung- und Stolperversuche durchgeführt, die letztendlich zur Entwicklung einer neuen Prüfapparatur für Sicherheitsschuhe führten. Langfristig soll durch entsprechende Modifikationen am Fußschutz die hohe Anzahl der Fersenbeinbrüche reduziert werden, damit menschliches Leid verhindert und Kosten eingespart werden können. Nachfolgend werden wesentliche Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben vorgestellt.

Das Unfallgeschehen

Die Unfallstatistik der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) zeigt

für die Jahre 1998 und 2006 bei den verletzten Körperteilen sowohl bei den meldepflichtigen Arbeitsunfällen als auch bei den neuen Unfallrenten eine grundsätzlich gleiche prozentuale Verteilung (vgl. Abb. 1). Während die Verletzungen am Fuß / Knöchel bei den meldepflichtigen Arbeitsunfällen am zweithäufigsten sind, treten sie bei den neuen Unfallrenten am häufigsten auf. Der wesentliche Schwerpunkt der Verletzungen, der zu neuen Unfallrenten führt, ist der Bruch des Fersenbeins.

Diese Verletzungen verursachen viel menschliches Leid und kosten für die Unfallversicherungsträger vorsichtig geschätzt ca. 200.000 EUR pro Unfall. Deshalb wurde bereits 2003 durch das Sachgebiet „Fußschutz“ im Fachausschuss „Persönliche Schutzausrüstungen“ ein entsprechendes Forschungsvorhaben initiiert. Die Projektleitung lag bei Hr. Prof. Dr. Frank Mayer, früher Universitätsklinikum Freiburg, Abteilung Rehabilitative und Präventive Sportmedizin und dem Institut für Sport und Sportwissenschaft, jetzt Hochschulambulanz der Universität Potsdam. Beteiligt waren darüber hinaus verschiedene Schuhhersteller, das BGIA (Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz) und die AUVA (Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, Österreich). Das Vorhaben wurde von der DGUV mit

Mitteln des Forschungsfonds unterstützt (FFFF0221) [link auf <http://www.dguv.de/bgia/de/pro/pro1/pr9221/index.jsp>].

Forschungsvorhaben „Fersenbeinbrüche“

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollte die Frage geklärt werden, ob Fußschutz einen Beitrag zur Vermeidung von Fersenbeinbrüchen leisten kann und ggf. welche Anforderungen zu prüfen sind, um die zum Bruch des Fersenbeins führenden Belastungen zu verringern. Für eine erfolgreiche Umsetzung eines solchen Projektes ist es zwingend erforderlich, das in der europäischen Norm (DIN EN ISO 20344) vorhandene Prüfverfahren zur Ermittlung des Energieaufnahmevermögens im Fersenbereich zu beurteilen, ggf. einen Vorschlag für ein neues Prüfverfahren zu erarbeiten und diesen in die europäischen Normungsgremien einzubringen.

Das Forschungsvorhaben „Fersenbeinbrüche“ begann 2003 und endete 2007. Es kann in mehrere Abschnitte untergliedert werden:

- ▶ Kenngrößen für Fersenbeinbrüche
- ▶ Einfluss biomechanischer Kenngrößen
- ▶ Auswirkung des Fußschutzes
- ▶ Virtuelles Simulationsmodell
- ▶ Entwicklung einer Prüfapparatur.

Kenngrößen für Fersenbeinbrüche

Für die Bestimmung von Kenngrößen für Fersenbeinbrüche sind neben einer Literaturrecherche 174 Akten der gewerblichen Berufsgenossenschaften und des Universitätsklinikums Freiburg ausgewertet worden. Als ein Ergebnis des Aktenstudiums ist festzuhalten, dass der Arbeitsunfall vorwiegend bei männlichen Personen auftrat. Auffälligkeiten durch Vorerkrankungen (wie z. B. Diabetes, Osteoporose) oder Medikamente konnten nicht festgestellt werden. 50 % der Arbeitsunfälle ereigneten sich innerhalb der ersten 4 Stunden, 25 % nach der 7. Stunde. Unfallursächlich war zu ca. 30 % der Stolper- und Rutschunfall und zu ca. 60 % der Absturzunfall. Der zum Fersenbeinbruch führende Absturz ereignet sich typischerweise von der Leiter, bei einer Absturzhöhe zwischen 1 m und 5 m. Bemerkenswert ist, dass die Unfallfolgen wie z. B. Schweregrad, Rehabilitation, Minderung der Erwerbsfähigkeit unabhängig von der Absturzhöhe sind.

Einfluss biomechanischer Kenngrößen

Um zu verstehen welche Belastungen in welcher Situation am Fersenbein auftreten

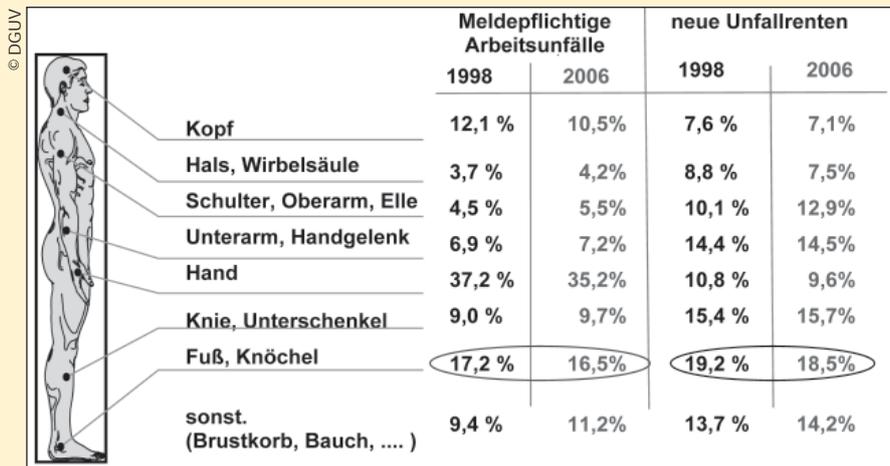


Abb. 1: Verletzte Körperteile bei Arbeitsunfällen aus 1998 und 2006.

ten und wann das Fersenbein bricht, sind über Literaturobwertung und Aktenstudium hinaus biomechanische Untersuchungen bei der Simulation von Stolper- und Rutschunfällen sowie von Absturzunfällen durchgeführt worden. Die Versuche wurden kinematisch dreidimensional erfasst und gleichzeitig die Bodenreaktionskräfte, die plantare Druckverteilung am Fuß und die internen Regulationsvorgänge in der Muskulatur gemessen. Die Stolper- und Rutschunfälle wurden mit 36 Probanden simuliert. Die Versuchsanordnung bestand aus jeweils einem Laufband pro Bein, welche jeweils dem Gehen entsprechend, in der gleichen Richtung und mit gleicher Geschwindigkeit liefen. Zum Auslösen der Unfallsituation wurde die Geschwindigkeit oder die Laufrichtung eines Bandes verändert. Es zeigte sich, dass die auftretenden Belastungen zu keinem Bruch des Fersenbeins führen können. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass nach dem Stolper- oder Rutschunfall der weitere Unfallverlauf zum Fersenbeinbruch führt.

37 Probanden simulierten Absturzunfälle, in dem sie in zufälliger Reihenfolge aus Höhen von 0,20 m, 0,40 m und 0,60 m absprangen. Die Absprunghöhe war bewusst auf 0,60 m begrenzt worden, um entsprechend der Literaturobwertung die Probanden nicht der Gefahr eines Fersenbeinbruchs auszusetzen. Die Sprünge erfolgten barfuss mit und ohne Sicht. Der jeweils letzte Sprung war ein Blindsprung mit falscher Höhenangabe, d. h. der Proband glaubte, die Sprunghöhe betrage 0,60 m, dabei betrug sie tatsächlich nur 0,20 m. Gefordert waren Landungen im Fersenbereich mit und ohne Anschlussbewegung.

Die wesentlichen Erkenntnisse aus dieser Versuchsreihe waren,

- ▶ dass ab der Absprunghöhe 0,40 m die Probanden entgegen der Anweisung im Vorfußbereich landeten,
- ▶ dass unabhängig vom ersten Bodenkontakt im Vor- und Rückfuß etwa gleich große Belastungen auftraten,
- ▶ dass bereits ab 0,20 m Absprunghöhe (Blindsprung mit falscher Höhenangabe) Belastungen auftreten, die zum Fersenbeinbruch führen können und
- ▶ dass die gemessenen Belastungen bei Personen mit gleichen anatomischen Voraussetzungen (Gewicht, Größe, etc.) z. T. erheblich von einander abwichen.

Damit wurde bereits in dieser Projektphase deutlich, dass das in der Norm DIN EN ISO 20344 vorhandene quasi statische Prüfverfahren für Sicherheitsschuhe, die

tatsächlich auftretende Belastungssituation nur unzureichend abbildet.

Auswirkungen des Fußschutzes

Mit Hilfe von weiteren 40 Probandenversuchen wurde der Frage nachgegangen, welche Auswirkungen – im Vergleich mit den Barfußsprüngen – welche Komponenten des Fußschutzes auf die auftretenden Belastungen beim Absturz haben. Es wurden spezielle Schuhkonstruktionen gefertigt, die z. B. extrem flexibel oder im Vorfuß extrem schwer waren. Die Sprungversuche erfolgten blind aus 0,20 m und 0,40 m Höhe. Wesentliche Erkenntnisse dieser Versuchsreihe waren,

- ▶ dass eine Dämpfung im Vorderfuß die Belastung im Rückfuß verringert,
- ▶ dass ein weicher Rückfuß die Muskelaktivität steigert,
- ▶ dass ein „kritisches Schuhgewicht“ für die Voreinstellung der Muskulatur erforderlich ist und
- ▶ dass der Geschwindigkeitsverlauf bei der Belastung durch eine Längsgewölbestütze beeinflusst wird.

Damit wurde deutlich, dass entsprechende geeignete Schuhkonstruktionen einen wesentlichen Beitrag zur Vermeidung von Fersenbeinbrüchen leisten können, vorausgesetzt es gibt in den harmonisierten Normen ein realitätsnahes Prüfverfahren.

Virtuelles Simulationsmodell

Die Verletzungsgefahren für die Probanden begrenzten die Sprunghöhen bei den Versuchen. Deshalb war das Fersenbein virtuell abzubilden. Mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode wurde das Fersenbein zweidimensional dargestellt. Die dreidimensionale Validierung erfolgte anhand der Sprungversuche und der Unfallereignisse. Das virtuelle Simulationsmodell kann u. a. die variierenden Parameter des Fersenbeins berücksichtigen und den Belastungsverlauf bis zu den typischen Bruchbildern veranschaulichen. Mit diesen Voraussetzungen könnte analog zu den Crash-Untersuchungen in der Automobilindustrie ein virtueller Prüfstand für die Schuhindustrie entstehen.

Entwicklung einer Prüfapparatur

Unter Berücksichtigung der im Projekt erzielten Ergebnisse wurde das neue Prüfverfahren nahe an der Absturzsituation entwickelt, d. h. ein Unterschenkel-Fuß-Dummy fällt aus einer definierten Höhe (0,20 m, 0,40 m) und könnte mit Vorfuß- bzw. Rückfußkontakt auftreffen.

Erste Beurteilungskriterien wurden diskutiert, es sind aber noch entsprechende

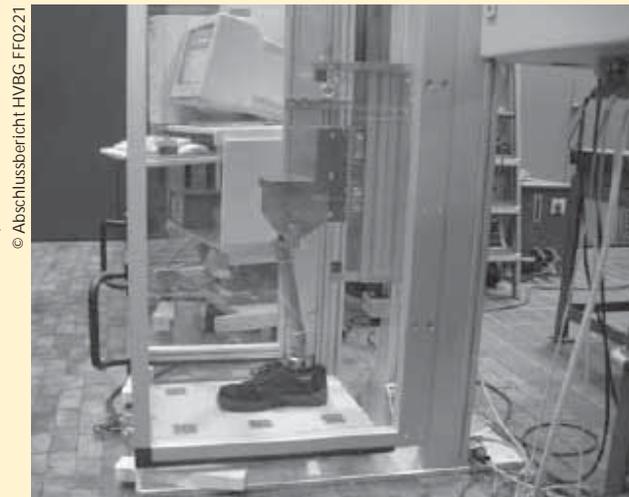


Abb. 2: Prototyp der Prüfapparatur.

Prüfanforderungen und Kalibrierungsmaßnahmen festzulegen. Die ersten Messergebnisse waren vielversprechend und zeigten ein robustes, trennscharfes Prüfverfahren, das eine situationsgerechte Überprüfung des Fußschutzes im Rahmen eines standardisierten Prüfverfahrens ermöglicht.

Das Prüfverfahren wird aktuell in einem Folgeprojekt (DGUV FFFP0282) optimiert und validiert. Dabei sind technische Probleme, z. B. aufgrund des Rückfederns des Unterschenkel-Fuß-Dummys zu lösen. Auch ist eine Messtechnik zu finden, die der Dynamik des Aufpralls gerecht wird, dabei aber für spätere Prüfstellen erschwinglich bleibt. Erst mit diesen noch ausstehenden Ergebnissen kann ein entsprechender Vorschlag in die europäischen Normungsgremien eingebracht werden, damit zukünftig ein verbesserter Schutz vor Fersenbeinbrüchen gegeben ist.

¹ Abschlussbericht des Forschungsvorhabens „Prävention von Verletzungen bei Stolper-, Rutsch- und Sturzunfällen; Einflussfaktoren von Fersenbeinfrakturen; Entwicklung einer Prüfapparatur und Evaluation präventiver Maßnahmen zur Verhütung von Fersenbeinfrakturen“ Juli 2007 [link auf <http://www.dguv.de/bgja/de/pro/pro1/pr9221/index.jsp>]

² DIN EN ISO 20344 „Persönliche Schutzausrüstung; Prüfverfahren für Schuhe“ (Ausgabe 2007-11); Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin

Dipl.-Ing. Detlev Opara
Obmann des Sachgebietes „Fußschutz“
im Fachausschuss „Persönliche Schutzausrüstungen“

