

Aus der Medizinischen Universitätsklinik und Poliklinik Tübingen  
Abteilung Innere Medizin V Sportmedizin  
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. A. Nieß

**Evaluierung der Fußmaße von Industriearbeitern  
mittels 3D-Scan unter besonderer Berücksichtigung  
von Fußfehlstellungen**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin  
der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen

vorgelegt von  
Christian Hofgärtner  
aus Göppingen

Tübingen 2007

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. T. Horstmann

2. Berichterstatter: Professor Dr. N. Wülker

3. Berichterstatter: Professor Dr. H.-P. Kaps

---

1	Einleitung .....	4
2	Methodik und Material .....	9
2.1	Untersuchungskollektiv .....	9
2.1.1	Einschlusskriterien .....	9
2.1.2	Ausschlusskriterien .....	10
2.2	Untersuchungsablauf .....	10
2.3	CRF- case report form .....	10
2.4	Fußbeurteilung .....	13
2.5	Scanner .....	15
2.6	Leistenvermessung .....	16
2.6.1	Leistenzugaben .....	16
2.7	Manuelle Auswertung .....	17
2.7.1	Fußmesslinie .....	18
2.7.2	Ballenlänge .....	18
2.7.3	Kleinzehenballenlänge .....	19
2.7.4	Großzehenwinkel .....	20
2.7.5	Kleinzehenwinkel .....	20
2.7.6	Fersenmaß .....	21
2.7.7	Gewölbeanfang und – ende .....	22
2.7.8	Arch ankle (Gewölbewinkel) .....	22
2.7.9	Fersenbreite .....	23
2.7.10	Ballenbreite .....	24
2.7.11	Ballenumfang .....	24
2.7.12	Ballenwinkel .....	24
2.7.13	Fußlänge .....	25
2.8	Automatische Auswertung .....	26
2.8.1	Tailenmaß .....	26
2.8.2	Ristmaß .....	27
2.9	Drop outs .....	27
2.10	Statistik .....	29
2.10.1	Deskriptive Statistik – CRF .....	29
2.10.2	Deskriptive Statistik – manuelle/automatische Auswertung .....	29

---

2.10.3	Clusteranalyse .....	31
3	Ergebnisse .....	33
3.1	CRF– deskriptiv.....	34
3.1.1	Ausgeführte Tätigkeiten .....	34
3.1.2	Arbeitszeit .....	35
3.1.3	Bewegungsformen .....	35
3.1.4	BMI, Körpergröße .....	37
3.1.5	Alter .....	39
3.1.6	Nationalität .....	40
3.1.7	Schuhgröße .....	41
3.1.8	Arbeitsschuhe (Hersteller, Sicherheitseinteilung).....	42
3.1.9	Getragene Einlagen im Arbeitsschuh.....	43
3.1.10	Beschwerden und äußerliche Auffälligkeiten beim Tragen des aktuellen Arbeitsschuhs .....	44
3.1.11	Schmerzanamnese .....	46
3.1.12	Beinachse .....	48
3.1.13	Sportaktivität .....	49
3.1.14	Fußformen, Fußfehlstellungen .....	49
3.2	Größenverteilung zu verschiedenen Fußmaßen .....	52
3.3	Clusteranalyse – Fußtypisierung.....	56
3.4	Fußtypen - Leistenvergleich .....	58
3.5	Großzehenwinkel – Vergleich Leisten–/Fußmaße .....	59
4	Diskussion der Ergebnisse.....	61
4.1	Arbeitsplatzsituation, Beschwerden und Fußfehlstellungen .....	61
4.2	Ballenbreite , Fersenbreite, Ballenwinkel und Ballenlänge.....	65
4.3	Fußtypisierung .....	67
4.4	Fußtypen- Leistenvergleich .....	68
4.5	Vergleich des Großzehenwinkel zwischen Leisten- und Fußmaßen.	69
5	Zusammenfassung.....	71
6	Literaturverzeichnis .....	73
7	Anhang.....	75
7.1	Patienteninformation .....	75

---

7.2	Case report form, CRF .....	76
7.3	Sicherheitseinteilung bei Arbeitsschuhen (übernommen von dem Arbeitsschuhhersteller Elten GmbH) .....	79
7.4	Größenverteilung – deskriptive Auswertung: Kreuztabellen weiterer Fußmaße .....	80
8	Danksagung .....	90
9	Lebenslauf.....	91

## 1 Einleitung

In den meisten Industriebetrieben ist das Tragen von speziellen Arbeitsschuhen vorgeschrieben. Mit den an sie gestellten Anforderungen haben sie einen hohen Stellenwert in der Verletzungsprävention. Europäische Normen schreiben bestimmte Anforderungen an das Ober- und Futtermaterial, an die Brandsohle und Laufsohle sowie an Form und Höhe der Schuhe vor. In den meisten Modellen ist eine Stahlkappe im Zehenbereich vorgeschrieben, um den Vorfuß vor herabfallenden Gegenständen zu schützen. Weiter werden in den unterschiedlichen Sicherheitseinstufungen eine Antistatik, ein Energieaufnahmevermögen im Fersenbereich, ein geschlossener Fersenbereich, Wasserundurchlässigkeit, Durchtrittssicherheit und profilierte Laufsohlen gefordert. Je nach Einsatzbereich können hier weitere vorgeschriebene Eigenschaften hinzukommen.

Trotz aller Sicherheitsnormen darf die Passform der Arbeitsschuhe nicht aus den Augen verloren werden, stellt doch der Arbeitsschuh den wohl am längsten und häufigsten getragenen Schuh des Arbeiters dar.

Dass das Erreichen einer optimalen Passform von Schuhen oft ein Problem darstellt, zeigen einige in der Vergangenheit durchgeführte Studien.

So demonstrierte eine Studie der Klinik und Poliklinik für Orthopädie der Rhein.-Fried.-Wilh.-Universität Bonn in Zusammenarbeit mit der Tecmath AG in Kaiserslautern an 46 Frauenfüßen, dass keine Proportionalität zwischen Vorfußweite und Fußlänge besteht. Dies wiederum zeigt, dass Füße gleicher Länge, in Breite und Umfängen eine relativ hohe Varianz aufweisen, so dass die Versorgung mit einem Schuh, der nach Standardleisten gefertigt wurde, nicht als ausreichend angesehen werden kann.<sup>17</sup>

Eine weitere Studie mit 20 Probanden, deren Füße einerseits mit einem 2D-Scanner vermessen wurden und die andererseits die Passform von 4 unterschiedlichen Schuhmodellen beurteilen sollten, zeigte, dass es bereits signifikante Unterschiede zwischen den Modellen einer Schuhgröße im Vor- und Rückfußbereich gab. Es wurden auch die jeweiligen Schuhteile vermessen und mit den Messergebnissen der Probandenfüße verglichen.

Dabei konnte festgestellt werden, dass gerade im Vorfußbereich das Schuhwerk in allen getesteten Modellen im Vergleich zu den vermessenen Füßen zu schmal war.<sup>23</sup>

Als Folge unzureichender Passform resultieren oft Fußfehlstellungen, Clavi und Schwielen, die sehr vielfältig sein können. Wie mehrere Studien gezeigt haben, ist vor allem eine schlechte Fußführung im Schuh und zu enges Schuhwerk Auslöser multipler Beschwerden.<sup>20</sup> Ein in der Länge zu kurzer und vor allem im Vorfußbereich zu enger Schuh ist oft Ursache eines Hallux valgus, von Hammer – und Krallenzehen. So werden die Zehen desto mehr zusammengepresst, je spitzer der Schuh im Zehenbereich gestaltet ist, was sich primär in einer Deviation der Großzehe nach lateral zeigt. Des weiteren gleiten die Füße im oft keinen Halt gebenden Fußbett Schritt für Schritt nach vorne, was zu einer Stauchung der Zehen führt und längerfristig die Ausbildung eines Hallux valgus, Hammer- und Krallenzehen begünstigt.<sup>15,11</sup> Besonders ausgeprägt zeigt sich dies bei Frauen, welche oft sehr enge, spitz zulaufende Schuhe mit hohen Absätzen tragen.<sup>3,7-9</sup>

Insbesondere der Hallux valgus, welcher die häufigste und wohl bedeutsamste Zehenveränderung darstellt, stellt eine unmittelbare Folge der oft in der Passform unzureichenden Schuhmode dar.<sup>15</sup> Untersuchungen an Skeletten aus dem Mittelalter zeigten, dass es im späten Mittelalter mit Einführung engen geschnürten Schuhwerks wesentlich mehr Hallux valgus- Fehlstellungen gab als im frühen Mittelalter, in dem noch keine bzw. selten Schuhe getragen wurden.<sup>12</sup>

Neben Übergewicht und Bänderschwäche spielen bei der Entstehung eines Spreiz-, Senk-, und Hohlfußes vor allem unzweckmäßiges Schuhwerk und langes Stehen ohne Fußbewegungen eine große Rolle. Lässt ein Schuh infolge seiner schlechten Passform dem Fuß bei bestehender Führung nicht genügend Platz, so kommt es aufgrund der Immobilität zu einer Atrophie der am Fußlängs- und Quergewölbe beteiligten Muskulatur, was zu Fußfehlstellungen führt.<sup>15,16</sup> In Anbetracht der lang andauernden und monotonen Bewegungsabläufe von Industriearbeitern scheint gerade in diesem Punkt eine optimale Passform des Schuhwerks wichtig zu sein. Aber auch lokale

Überlastung des Vorfußes, wie es vor allem bei Vorfußdeformitäten wie dem Hohlfuß und durch sportliche Belastungen kommen kann, fördert die Entstehung eines Spreizfußes.<sup>22</sup>

Oft sind Hautreaktionen erste Auswirkungen unpassenden Schuhwerks. Während in den Hauptbelastungszonen des Fußes wie der Ferse, dem Großzehenballen und dem Kleinzehenballen eine diskrete Schwielenbildung normal ist, muss beim Auftreten von Schwielen in anderen Bereichen an eine Fehlbelastung durch unpassendes Schuhwerk gedacht werden.<sup>15,6</sup> Reißen die Schwielen ein, können starke Schmerzen auftreten.<sup>15</sup>

Clavi (Hühneraugen) entstehen ebenfalls durch eine Fehlbelastung bzw. durch eine Druckeinwirkung meist dorsal an den Zehen. Oft findet sich diese unphysiologische Druckeinwirkung bei Hammer- und Krallenzehen.<sup>15,6</sup>

Neben Schmerzen finden sich Entzündungszeichen verschiedensten Ausmaßes bis hin zu eiternden Läsionen.<sup>22,15</sup>

Die einfachste und einzig effektive Maßnahme zur Therapie und Vermeidung von Clavi und Schwielen ist das Tragen von weitem, gut passendem Schuhwerk.<sup>19</sup>

Werden Schwielen und Clavi nicht als erste Warnzeichen für unpassendes Schuhwerk erkannt und darauf reagiert, können im Laufe der Zeit die oben beschriebenen Fußfehlstellungen entstehen, deren Behandlungsmöglichkeit oft eingeschränkt ist und nicht selten operative Eingriffe erfordern.<sup>2,15,22</sup>

Neben einer unphysiologischen Statik, schmerzhaften Schwielen und Clavi kann es zu Schmerzen im Vorfuß unter den Metatarsalköpfchen kommen, zu so genannten Metatarsalgien.<sup>18</sup> Eulry differenziert die statische Metatarsalgie in 5 Typen mit unterschiedlicher Pathologie.<sup>5</sup>

Es gibt bisher kaum Studien über Fußfehlstellungen bzw. – beschwerden bei Arbeitern. Zwar existieren zum Teil alte Arbeiten aus Russland<sup>14</sup> den USA<sup>21</sup>, Japan<sup>13</sup> und Ungarn<sup>1</sup>, diese wurden jedoch noch nicht mit modernen Messmethoden erstellt und sind gemessen an den heutigen Bedingungen und Belastungen am Arbeitsplatz nur wenig aussagekräftig.



Gemessen an früheren Meßmethoden bietet die hier eingesetzte neuartige 3D-Methode erhebliche Vorteile. Die in der Vergangenheit benutzten 2D-Geräte arbeiteten nach taktilen oder optischen Methoden.

Taktile 2D-Geräte nehmen die Maße, die seit Jahrzehnten gemessen werden: die maximale Fußbreite und Fußlänge.

Optische 2D-Geräte „kopieren“ lediglich den Fuß von unten. Beide 2D-Geräte liefern also keine Maße, die die Höhe des Fußes (z.B. Ballenumfang, Taillenhöhe und Spannhöhe) berücksichtigen. Zusätzlich arbeiten die optischen Geräte sehr langsam, wodurch die Messgenauigkeit relativ schlecht wird, da hierdurch zunehmend Bewegungsartefakte auftreten. 2 ½ D-Geräte machen zwei Ansichten vom Fuß, eine vom Fußabdruck und eine von der medialen oder lateralen Seite. Daher können nur 2D-Messungen wie unterschiedliche Länge und Höhe gemacht werden. Mithilfe dieser Ansichten können einige Maße der dritten Dimension geschätzt werden. Die Schätzung ist jedoch stark von der Erfahrung des Vermessers abhängig.

Mit elektronischen 3D-Geräten wie sie in dieser Arbeit verwendet wurden, werden alle genannten Nachteile der 2D- und 2 ½ D-Geräte beherrschbar. Der Fuß wird in seiner gesamten Form erfasst und ist am PC in beliebigen Projektionen reproduzierbar, was eine Nachbeurteilung des Fußes ermöglicht. Zudem ist es bei einer Messdauer von nur ca. 10 Sekunden je Fuß möglich viele Probanden in kurzer Zeit zu vermessen.<sup>4</sup>

Schuhe werden unter Zuhilfenahme eines Leisten angefertigt. Dieser ist Maßgeber des Schuhs und somit entscheidend für die Passform.

In der Vergangenheit wurden die Maße für den Bau der Schuhleisten aus 3 Komponenten berechnet, der Trittspurkopie, dem Zeichnen der Profile und durch das Messen von verschiedenen Umfängen (oberer Schaftabschluß, Knöchelmaß, Hackenmaß, Hochspann, Vorspann, Ballenmaß, Schafthöhe). Diese Technik wird heutzutage nur noch bei Maßanfertigungen angewandt. Die Industrie bedient sich vielmehr des „Versuch-und Irrtumsprinzips“, durch den Einsatz von Leisten „erfolgreicher Modelle“.<sup>15,10</sup>

In der Vergangenheit gab es von Seiten der Arbeitsschuhhersteller schon den Versuch ein einheitliches Mehrweitemsystem für Sicherheitsschuhe, das „Mondopoint-System“ einzuführen. Hierbei werden je Schuhgröße 5 Weiten (extra schmal, schmal, normal breit, extra breit und extra breit plus) angeboten. Tatsächlich bieten die meisten namhaften Hersteller Modelle an, welche nach dem Mondopoint-System gefertigt sind, meist jedoch nur bei wenigen Schuhmodellen, da dieses System enorme Zusatzkosten mit sich bringt.

Der Einsatz des 3D-Scans (Pedus 3D Foot Scanner) als neue Meßmethode bei der Fußvermessung und sein möglicher Einfluss in die Schuhproduktion ist mit einer Reihe von Fragen verknüpft, die in dieser Arbeit am Kollektiv von Industriearbeitern bzw. ihren Arbeitsschuhen beantwortet werden soll:

- Wie sieht die Verteilung sämtlicher mittels 3D-Scanner ermittelten Fußmaße aus?
- Lassen sich hierbei bestimmte Fußtypen charakterisieren, was für die Schuhindustrie auf kostenarme Weise eine Verbesserung der Passform ermöglicht?
- Bestehen bei Industriearbeitern Fußfehlstellungen bzw. Fußbeschwerden und stehen diese im Zusammenhang mit dem von ihnen getragenen Schuhwerk?

## **2 Methodik und Material**

### **2.1 Untersuchungskollektiv**

Insgesamt wurden 517 männliche Industriearbeiter in die Studie eingeschlossen.

Die Probanden wurden in zwei großen Industriebetrieben rekrutiert. Messungen fanden bei der Daimler Chrysler AG in Sindelfingen und bei Volkswagen in Kassel statt. Außerdem wurden Messungen in zwei mittelständischen Betrieben, dem Schuhhersteller Elten GmbH und einem Automobilzulieferer, in Uedem durchgeführt.

In Absprache mit den Betrieben wurden die Probanden während ihrer Arbeitszeit nach dem Zufallsprinzip ausgewählt und untersucht.

#### **2.1.1 Einschlusskriterien**

Die Einschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie waren:

- männliche Industriearbeiter älter als 18 Jahre
- das Tragen von Arbeitsschuhen (siehe Anhang 7.3) während ihrer betrieblichen Tätigkeit
- ein sicherer Stand, der Voraussetzung für die Fußvermessung mit dem eingesetzten 3D-Scanner ist
- die Einwilligungsfähigkeit und Freiwilligkeit der Probanden

### 2.1.2 Ausschlusskriterien

Die Ausschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie waren

- schwere Fußdeformitäten wie Zehenamputationen
- eine falsche Fußausrichtung auf dem Scanner während der Messung (<math>-12^\circ/>5^\circ</math> Drehung der zur Anschlagleiste orthogonalen medialen Fußinnenkante, siehe 2.7.1)
- ein schlechtes Scanergebnis, welches eine manuelle Auswertung nicht ermöglicht hätte

## 2.2 Untersuchungsablauf

Mit Hilfe eines Informationsblattes (siehe 7.1) waren die Arbeiter bereits im Vorfeld über die Studie in den Betrieben aufgeklärt worden, am Tag der Untersuchung erfolgte eine erneute Information über Hintergrund und Ziel der Untersuchung sowie über Untersuchungsablauf und –dauer. Nach erfolgter Einwilligung wurden die Probanden mit Hilfe eines für die Studie entworfenen CRF´s zu den dort aufgeführten Punkten befragt. Nach Erhebung dieser Daten wurden die Füße begutachtet (siehe 2.4), fotografiert und mit dem Scanner vermessen (siehe 2.5).

Der Untersuchungsablauf nahm pro Proband ca. 10-15 min in Anspruch. Eine nochmalige Beurteilung mit Hilfe des Fotomaterials erfolgte zu einem späteren Zeitpunkt.

## 2.3 CRF- case report form

Um die von den Firmen geforderte Anonymität der Arbeiter zu wahren, wurden lediglich das Messdatum, der Ort der Messung und eine fortlaufende Probandennummer auf dem CRF erfasst.

•**Tätigkeit am Arbeitsplatz:** Mit Hilfe offener und geschlossener Fragen wurde die ausgeübte Tätigkeit bezüglich häufiger dynamischer und statischer Bewegungen bzw. Haltungen erfasst, um das genaue Bewegungsbild der Arbeiter an ihrem Arbeitsplatz zu beschreiben. Erfragt wurden der Einsatzort im Betrieb und die Dauer dieser Tätigkeit. Außerdem sollten die Arbeiter angeben, wie viele Stunden am Tag sie bei ihrer Tätigkeit stehen, gehen und sitzen. Abschließend sollte auf das Vorkommen folgender Bewegungsmuster mit „ja“ bzw. „nein“ geantwortet werden:

- Überkopfarbeiten
- Drehbewegungen (im Oberkörper)
- Gebeugte Arbeitshaltung
- Hebearbeiten
- Arbeiten auf den Knien

•**Größe und Gewicht:** Beide Parameter wurden vor Ort gemessen, wobei darauf geachtet wurde, dass die Probanden vor der Gewichtsmessung schwere Gegenstände wie Werkzeug, Schlüssel, etc. ablegten. Das Gewicht wurde stets mit derselben Waage bestimmt. Um die noch getragene Arbeitskleidung zu berücksichtigen, wurde das gemessene Gewicht einheitlich um 2 kg reduziert. Die Größe wurde ohne Schuhe gemessen.

•**Body Mass Index:** Dieser wurde aus Gewicht und Größe wie folgt ermittelt.

$$\text{BMI (kg/m}^2\text{)} = \text{Gewicht (kg)} / \text{Größe}^2 \text{ (m}^2\text{)}$$

Die BMI-Einteilung wurde nach der Adipositas-Klassifikation der WHO entsprechend ihrem Report der Jahre 1995 und 1998 durchgeführt.

**Tabelle 1: BMI-Klassifikation der WHO**

	BMI kg / m <sup>2</sup>
Normalgewicht	18,5 – 24,9
Übergewicht	25 – 29,9
Adipositas Grad I	30 – 34,9
Adipositas Grad II	35 – 39,9
Adipositas Grad III	> 40

Zusätzlich wurden alle Werte unterhalb eines BMI von 18,5 kg/m<sup>2</sup> als „Untergewicht“ klassifiziert.

•**Alter:** es wurde das Alter in Jahren angegeben.

•**Nationalität:** hier wurde nicht nach der jetzigen Nationalität, sondern nach der Abstammung gefragt.

•**Aktueller Arbeitsschuh:** Erfasst wurden hierbei die Schuhmarke, die Schuhgröße, die Sicherheitseinstufung des Schuhs (siehe 7.3), eventuell vorhandene Einlagen und bisher aufgetretene Probleme mit diesem Modell wie Druckstellen, Schwielen, Clavi, etc. (siehe Fußbeurteilung 2.4).

•**Gelenk- / Rückenschmerzen:** Erfragt wurden vorhandene Schmerzen in Rücken, Hüftgelenken, Kniegelenken, oberen und unteren Sprunggelenken und den Füßen. Hierbei wurde in Haupt- und untergeordneter Schmerz unterschieden. Die Probanden klassifizierten die Schmerzintensität anhand einer Schulnotenskala von 1 bis 6 (1= geringer Schmerz bis 6= sehr starker Schmerz).

Weiter wurden sie befragt, seit wann und in welcher Situation (statisch, dynamisch, bei bestimmten Bewegungen) die Schmerzen auftreten.

•**Beinachse:** Mittels eines Winkelmessers wurde der Abstand der Condylus tibiales (Varusstellung) und der Malleolenabstand (Valgusstellung) gemessen und in Millimeter übertragen.

•**Fußspitzenform:** Unterschieden wurden die griechische (II. Zehe am längsten), die ägyptische (I. Zehe am längsten), und die quadratische (I. und II. Zehe sind gleich lang) Form.

•**Sportaktivität:** Abschließend wurden die Arbeiter nach Sportaktivitäten befragt, wobei sie bis zu 4 von ihnen ausgeübte Sportarten nennen konnten. Zusätzlich sollten sie angeben, wie viele Stunden pro Woche sie Sport betreiben.

#### 2.4 Fußbeurteilung

Zur Untersuchung legten die Probanden Schuhe und Socken ab, Knöchel und Unterschenkel wurden mit beurteilt. Um zusätzlich eine Nachbeurteilung der Füße zu ermöglichen, wurden die Füße in den folgenden 4 standardisierten Positionen fotografiert.

- Seitenansicht in Schrittstellung
- Innenansicht in Schrittstellung
- Rückansicht, Füße parallel
- Frontalansicht von oben, Füße parallel

Bei der allgemeinen Begutachtung wurde besonders auf Auffälligkeiten wie Schwielenbildung, Clavi und Rötungen geachtet. Diese wurden subjektiv durch den Untersucher beurteilt. Diese Beurteilung wurde durch die Frage nach Beschwerden mit den getragenen Arbeitsschuhen ergänzt.

Zusätzlich wurde auf folgende Fußfehlstellungen geachtet:

•**Knick-Senkfuß/ Varusstellung:** Hierbei wurden in Dorsalansicht auf eine Valgusstellung der Achillessehne (Knickfuß), ein Absenken des Fußlängsgewölbes unter Belastung (Senkfuß) und auf eine Varusstellung der Achillessehne geachtet.

•**Plattfuß:** Dieser zeichnet sich durch eine Pronationsstellung im Rück- und Mittelfußbereich mit Abflachung des Fußlängsgewölbes auch ohne Belastung aus. Deshalb wurde bei Verdacht auf einen Plattfuß der Proband gebeten seinen Fuß zu entlasten, um das Fußlängsgewölbe auch unter fehlender Belastung beurteilen zu können und einen Plattfuß von einem extremen Knick-Senkfuß abzugrenzen.

•**Hohlfuß:** Hierbei wurde in Innansicht des Fußes auf eine verstärkte Ausbildung des Fußlängsgewölbes geachtet.

•**Spreizfuß:** Klinisch fällt der Spreizfuß durch eine Aufspreizung des Vorfußes auf, was je nach Schweregrad aufgrund der Absenkung der Mittelfußknochen 2, 3 und 4 zur Fußsohle hin, bis hin zu schweren Metatarsalgien (Schmerzen über eben diesen Mittelfußknochen) führen kann. Deshalb wurde bei der Beurteilung in diesen Fällen auf verstärkte Schwielenbildung und Schmerzen im Bereich der Mittelfußknochen 2-4 geachtet.

•**Hallux valgus:** Der Hallux valgus bezeichnet das Abweichen der Großzehe nach lateral. Bei der Beurteilung wurde zusätzlich auf Exostosen im Bereich des Großzehengrundgelenkes und auf eine Drehung der Großzehe geachtet.

Bei der Auswertung wurde der Halluxwinkel bestimmt. Dieser wurde mit Hilfe des bei der manuellen Fußvermessung bestimmten Großzehenwinkels und Ballenwinkels wie folgt berechnet.

Halluxwinkel = Großzehenwinkel – Ballenwinkel – 90°



•**Hammerzehe/Krallenzehe:** Bei beiden Formen liegt eine Überstreckung der Grundgelenke und Beugung in den Mittel- und Endgelenken vor. Bei der Hammerzehe liegt im Vergleich zur Krallenzehe eine geringere Streckung im Grundgelenk vor, so dass bei der Hammerzehe die Zehenkuppen den Boden eben noch berühren. Bei der Krallenzehe besteht kein Kontakt mehr zum Boden.

Ergänzend wurde auf **Varizen** im Unterschenkelbereich geachtet.

## 2.5 Scanner

Die Fußvermessung wurde mit dem „Pedus 3D Foot Scanner“ der Fa. Human Solutions GmbH durchgeführt. Der Scanner arbeitet mit Laserstrahlen, die ein dreidimensionales Abtasten des Fußes ermöglichen. Mit dem Scan sind keinerlei gesundheitlichen Risiken verbunden, da es sich um eine gepulste Anwendung handelt und ein Kontakt der Strahlen mit den Augen durch eine Abdeckung verhindert wird. Die Füße werden nacheinander unter statischer Belastung vermessen, das heißt, die zu vermessende Person steht eben auf beiden Füßen, so dass jeder Fuß 50% des Körpergewichts trägt.

Je Fuß dauert der Scan etwa 10 Sekunden.

Mithilfe der Verarbeitungssoftware können verschiedene Fußmaße manuell und automatisch berechnet werden (s. manuelle/automatische Auswertung 2.7/2.8)

**Abbildung 1 Scanner**



## 2.6 Leistenvermessung

Neben der unter 2.5 beschriebenen Fußvermessung wurden an einem Messtag bei der Arbeitsschuhfirma Elten GmbH sämtliche Schuhleisten in gleicher Weise wie die Füße gescannt. Hierbei wurde jede Leistengröße zweimal gescannt. Die Leisten weisen weniger anatomische Markerpunkte auf, so dass nur ein Teil der bei den Füßen verwendeten Fußmaße bestimmt werden konnte. Dies waren:

- Ballenbreite
- Ballenumfang
- Fersenbreite
- Spannhöhe
- Ristmaß
- Ballenlänge
- Ballenwinkel
- Großzehenwinkel
- Taillenmaß
- Fersenmaß

Aus den bei der manuellen und automatischen Leistenvermessung ermittelten Werten, wurde anschließend für jedes Leistenmaß der Mittelwert berechnet. Folgende Leistenmodelle der Elten GmbH wurden vermessen:

- Biomex
- Kairo
- Cross
- Natur, Natur 10w, Natur 9w
- Köln
- Stiefel Köln
- Stiefel Natur

### 2.6.1 Leistenzugaben

Da Schuhleisten als direkte Formgeber des Schuhs dienen, wird bereits vom Leistenhersteller im Zehenbereich eine Zugabe zur realen Fußlänge gemacht. Diese Zugabe ist je nach Leistenmodell unterschiedlich. Folgende Zugaben wurden bei den hier vermessenen Schuhleisten hinzugerechnet:

**16 mm** Zugabe: „Biomex“

**10 mm** Zugabe: „Cross“, „Kairo“, „Köln“, „Natur“, „Natur 10w“, „Natur 9w“, „Sport“, „Stiefel Köln“, „Stiefel Natur“

Um die realen Fußmaße mit den Leisten vergleichen zu können, mussten die Leisten in die ihnen entsprechende Schuhgröße abzüglich der Zugabe umgerechnet werden, da die Fußlänge ebenfalls in der entsprechenden Schuhgröße angegeben wurde. Diese wurde in beiden Fällen in „französisch Stich“ angegeben. Das Maß „französisch Stich“ ist ein Längenmaß mit dem der Schuhmacher die Länge des Leisten und somit auch des Schuhs angibt. Ein franz. Stich entspricht 6,66 mm.

Tabelle 2 zeigt die Umrechnung beispielhaft am Leistenmodell „Stiefel Natur“ der Schuhgröße 40 und 41.

**Tabelle 2: Umrechnung Leistengröße in franz. Stich**

Leistengröße	Leistenlänge	10mm Abz.	entspricht fr.Stich
40	270	260	41
41	277	267	42

## 2.7 Manuelle Auswertung

Zur manuellen Fußvermessung wurde die Software „Scan Worx“ der Fa. Human Solutions GmbH verwendet. Dieses Programm ermöglicht es, beliebige Messpunkte, Ebenen und Schnittebenen in die vom Scanner erstellte dreidimensionale Abbildung des Fußes einzulegen.

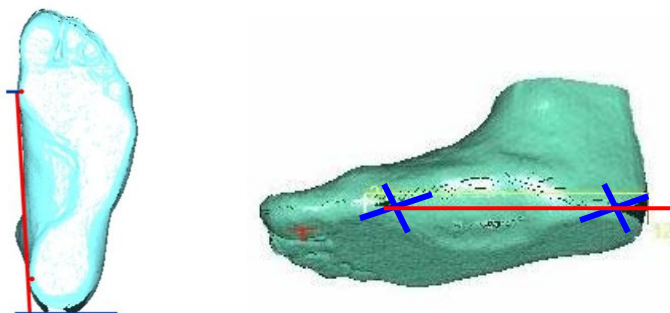
Die Auswertung wurde stets von der gleichen Person durchgeführt, um Messfehler durch interindividuelle Messvariabilitäten auszuschließen.

Ziel der manuellen Fußvermessung war, die Verteilung der im Folgenden genannten Fußmaße zu erhalten, und anschließend mit einer Clusteranalyse (siehe 2.10.3) eine Fußtypisierung durchführen zu können.

### 2.7.1 Fußmesslinie

Ausgangspunkt für jedes zu bestimmte Maß ist die Fußmesslinie, welche als die orthogonal zum Anschlagpunkt des Fußes verlaufende Tangente des äußersten medialen Punktes der Ferse und des äußersten Punktes des Großzehenballens definiert ist.

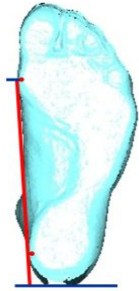
Beim Setzen der Editierpunkte wurde besonders darauf geachtet, dass diese auf Sohlenebene blieben und nicht vertikal nach oben verschoben waren.



**Abbildung 2 Fußmesslinie**

### 2.7.2 Ballenlänge

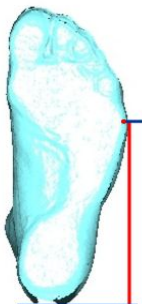
Für die Berechnung der Ballenlänge wurden dieselben Editierpunkte wie für die Fußmesslinie verwendet. Sie beschreibt die Strecke vom Anschlagpunkt der Ferse bis zum Großzehenballen, welche anatomisch der Höhe des ersten distalen Metatarsalköpfchen (siehe Abb. 3) entspricht und im weiteren nur noch als MTK I bezeichnet wird.

**Abbildung 3: Fußskelett****Abbildung 4: Ballenlänge**

### 2.7.3 Kleinzehenballenlänge

Die Kleinzehenlänge ist festgelegt als die Strecke vom Anschlagspunkt der Ferse bis zum Kleinzehenballen, welcher anatomisch der Höhe des distalen Metatarsalköpfchen V entspricht und im weiteren nur noch als MTK V bezeichnet wird.

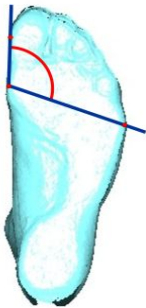
Hierzu wird der Editierpunkt am prominentesten äußeren Punkt an der lateralen Seite des Fußes angelegt.

**Abbildung 5 Kleinzehenballenlänge**

#### 2.7.4 Großzehenwinkel

Der Großzehenwinkel beschreibt den Winkel zwischen einer Gerade die durch MTK I und MTK V verläuft und einer Geraden welche durch den äußersten medialen Punkt des Großzehenballens und durch den äußersten medialen Punkt der Großzehe verläuft.

Zur Berechnung des Winkels werden die bereits gesetzten Editierpunkte des MTK I (Fußmesslinie) und des MTK V (Kleinzehenlänge), sowie ein am äußersten Rand der Großzehe gesetzter Punkt, verwendet.

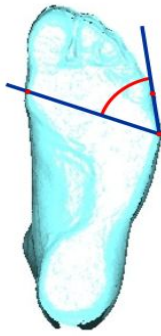


**Abbildung 6 Großzehenwinkel**

#### 2.7.5 Kleinzehenwinkel

Der Kleinzehenwinkel ist der Winkel zwischen einer Gerade, welche wie beim Großzehenwinkel durch Groß- und Kleinzehenballen verläuft und einer Geraden, welche durch den äußersten medialen Punkt des Großzehenballens und durch den äußersten lateralen Punkt der Kleinzehe verläuft.

Für die Berechnung des Winkels werden die bereits gesetzten Editierpunkte des MTK I (Fußmesslinie) und des MTK V (Kleinzehenlänge), sowie ein neu am äußersten lateralen Kleinzehenrand gesetzter Editierpunkt, verwendet.



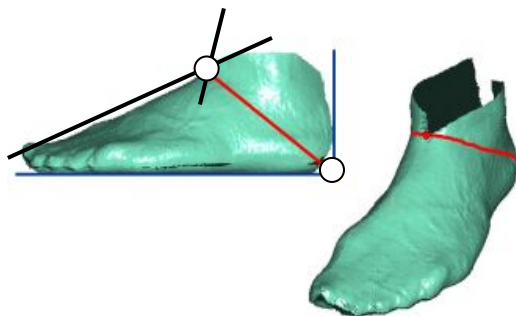
**Abbildung 7 Kleinzehenwinkel**

### 2.7.6 Fersenmaß

Das Fersenmaß ist der Umfang des Fußes, der durch folgende zwei Punkte verläuft, die gleichzeitig die Editierpunkte darstellen:

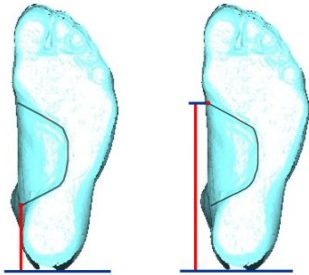
durch den plantaren Anschlagspunkt der Ferse und

durch den Schnittpunkt einer Gerade entlang des vorderen Unterschenkels und einer Gerade entlang des Fußrückens. Der Schnittpunkt liegt in Frontalansicht des Fußes in der Mitte des Fußrückens.



**Abbildung 8 Fersenmaß**

### 2.7.7 Gewölbeanfang und – ende



**Abbildung 9: Gewölbeanfang und - ende**

Der Gewölbeanfang ist durch die Strecke vom Anschlagpunkt der Ferse bis zum Beginn des Fußlängsgewölbes definiert, das Gewölbeende durch die Strecke vom Anschlagpunkt der Ferse bis zum Ende des Fußlängsgewölbes. Die Editierpunkte werden gesetzt, indem die Kurvatur des Fußgewölbes mit dem Cursor bis zum gedachten Schnittpunkt mit der Fußmesslinie fortgeführt wird. Dieser Schnittpunkt ist jeweils der Editierpunkt.

### 2.7.8 Arch ankle (Gewölbewinkel)

Der Arch ankle stellt den Winkel zwischen der Fußmesslinie und einer Geraden, welche das Fußlängsgewölbe tangiert, dar. Der Scheitelpunkt ist der bereits für die Ballenlänge und die Fußmesslinie gesetzte äußerste mediale Punkt des Großzehenballens. Für die Berechnung werden wie bereits erwähnt die Fußmesslinie und ein das Fußlängsgewölbe tangierender Editierpunkt verwendet. Dieser Punkt wird so gesetzt, dass er auf einer gedachten Gerade das Gewölbe zuerst tangieren würde.



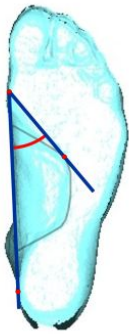
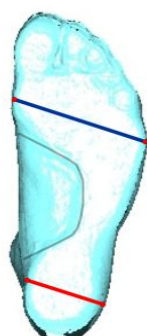


Abbildung 10 Arch anke

2.7.9 Fersenbreite

Die Fersenbreite beschreibt die breiteste Stelle in Plantaransicht des Fußes. Zur Messung wird ein vorprogrammierter Messbalken, welcher sich der jeweiligen Fersenkontur anpasst, etwa mittig der Ferse platziert. Zur Kontrolle, ob es sich tatsächlich um die breiteste Stelle der Ferse handelt, wird im „Measure Inspector“ der Software das Maß kontrolliert.

Abbildung 11 „Measure Inspector“



Name	Id	Value	State	OK
07 Gewölbeende R	gemr	16.7 cm	E	-
08 Arch Angle L	aslr	44.3 °	E	-
08 Arch Angle R	aarr	43.3 °	E	-
09 Gewölbebreite L	csil	1.8 cm	E	-
09 Gewölbebreite R	csrr	2.5 cm	E	-
10 Fersenbreite L	fbll	6.5 cm	E	-
10 Fersenbreite R	fbrr	6.5 cm	E	-
11 Ballenbreite L	bbll	11.3 cm	E	-
11 Ballenbreite R	bbrr	11.2 cm	E	-
12 Ballenumfang L	bul	26.9 cm	E	-
12 Ballenumfang R	bur	?	?	-
13 Ballenwinkel L	bwll	?	?	-
13 Ballenwinkel R	bwrr	?	?	-
14 Kleinzehenwinkel L	kzwll	?	?	-
14 Kleinzehenwinkel R	kzwrr	?	?	-
15 Spannhöhe L	shl	?	?	-
15 Spannhöhe R	shr	?	?	-
16 Spannlänge L	sll	?	?	-

Wizard

Update

Auto Update

Save

csil

Interactive Measure

1.8 cm

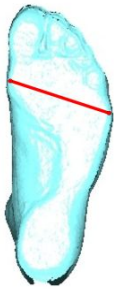
09 Gewölbebreite L

← ← →

Abbildung 12 Fersenbreite

### 2.7.10 Ballenbreite

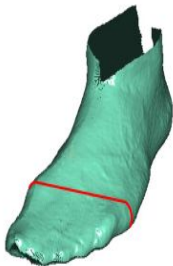
Die Ballenbreite ist die in Plantaransicht breiteste Stelle des Ballens. Sie wird gemessen zwischen den bereits bei Ballenlänge und Kleinzehe­n­länge gesetzten Editierpunkten, die anatomisch dem MTK I bzw. MTK V entsprechen.



**Abbildung 13 Ballenbreite**

### 2.7.11 Ballenumfang

Der Ballenumfang entspricht dem Umfang des Fußes auf Höhe bzw. durch die Editierpunkte auf Höhe des MTK I bzw. MTK V. Zur Berechnung wird eine horizontale Schnittebene durch diese Punkte, die bereits bei der Ballenlänge bzw. Kleinzehe­n­länge gesetzt wurden, eingelegt.

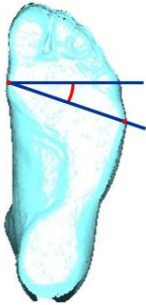


**Abbildung 14 Ballenumfang**

### 2.7.12 Ballenwinkel

Der Ballenwinkel ist der Winkel zwischen einer Orthogonalen zur Fußmesslinie durch den äußersten medialen Großzehenballenpunkt, der bereits bei der Fußmesslinie gesetzt wurde, und einer Geraden zwischen eben diesem Punkt

und dem äußersten lateralen Kleinzeheballenpunkt, welcher bei der Bestimmung der Kleinzehe Länge gesetzt wurde.

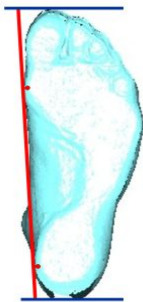


**Abbildung 15 Ballenwinkel**

### 2.7.13 Fußlänge

Die Fußlänge errechnet sich aus der Strecke zwischen der Fersenanschlagskante und einer zu dieser parallelen Tangente zum weitesten entfernten Punkt des Fußes entlang der Fußmesslinie (siehe Fußmesslinie 2.7.1). Entscheidend für die Genauigkeit der Fußlänge ist die korrekte Lage der Fußmesslinie. Eine im Vorfeld durchgeführte Validitätsstudie ergab, dass sich die Fußlänge bei Lage der Fußmesslinie in einem Sektor von  $+5^\circ$  bis  $-12^\circ$  zur Orthogonalen zur Fersenanschlagskante in einem vertretbaren Bereich von  $\pm 2\text{mm}$  Längenunterschied zur Orthogonalen befindet. Werte der Fußmesslinie außerhalb dieses Sektors führten zum Drop out des entsprechenden Fußes.

Um die Drop out -Quote von vornherein möglichst gering zu halten, wurde bereits bei der Scannermessung darauf geachtet, dass der Proband sich beim Ausrichten des Fußes im Scanner in diesem Sektorbereich befand.



**Abbildung 16 Fußlänge**

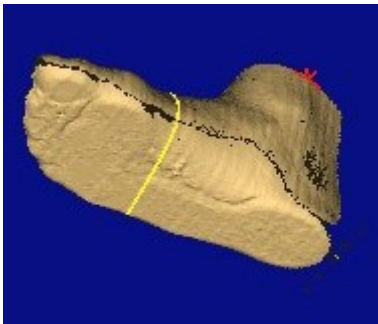
## 2.8 Automatische Auswertung

Die automatische Auswertung wurde wie die manuelle Vermessung mit der Software „Scan Worx“ der Fa. Human Solutions GmbH durchgeführt. Bei der automatischen Auswertung werden im Gegensatz zur manuellen Auswertung die Editierpunkte bzw. die Ebenen, die zur Berechnung notwendig sind, nicht vom Vermesser eingelegt, sondern vom Software-Programm selbst. Dieses orientiert sich an fest einprogrammierten Maßen, auf welche im Folgenden näher eingegangen wird.

Bestimmt wurden mit dieser Methode Taillenmaß und Ristmaß.

### 2.8.1 Tailenmaß

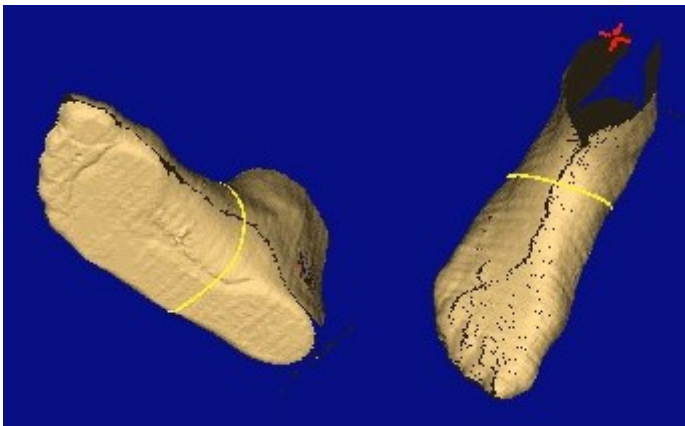
Das Taillenmaß beschreibt den Fußumfang auf Höhe 60% der Fußlänge, gemessen vom Anschlagpunkt der Ferse. Hierzu legt das Programm eine Ebene bei 60% der Länge des Fußes vom Fersenanschlagpunkt und in einem Winkel von  $75^\circ$  zur Fußmesslinie (siehe Fußmesslinie 2.7.1) in den „Scan-Fuß“ ein. Die Schnittlinie dieser Ebene mit dem Fuß ergibt den Umfang bzw. das Taillenmaß.



**Abbildung 17 Taillenmaß**

### 2.8.2 Ristmaß

Das Ristmaß stellt den Umfang des Fußes auf Höhe des Fußrists, genauer auf Höhe 37% der Fußlänge vom Anschlagpunkt der Ferse, dar. Hierbei wird eine Ebene bei 37% der Fußlänge, vom Anschlagpunkt der Ferse gemessen, in einem Winkel von  $67,5^\circ$  zur Plantarebene, eingelegt. Wie beim Taillenmaß ergibt die Schnittlinie dieser Ebene mit dem Fuß das Ristmaß.



**Abbildung 18 Ristmaß**

### 2.9 Drop outs

Folgende Kriterien führten zu einem Ausschluss aus der Studie:

- ein fehlerhafte Fußposition im Scanner:
  - o Ferse nicht am Fersenanschlagpunkt mit daraus resultierender falscher Fußlänge
  - o Die Fußmesslinie nicht innerhalb des Messsektors von  $-12^\circ$  bis  $+5^\circ$  mit resultierender falsche Fußlänge
  - o Ein nicht planer Stand mit angezogenen Zehen, welcher zu falschen Messergebnissen der Fußlänge aber auch der anderen Messwerte führen würde.

- Eine schlechte Scanqualität aufgrund:
  - o starker Fußtranspiration, welche eine exakte Messpunktsetzung sowohl bei der automatischen als auch bei der manuellen Messung nicht ermöglicht hätte.
  - o einer zu kalten Umgebungs-/bzw. Scannertemperatur, was zu einem Beschlagen der Glasplatte, auf welcher der Proband bei der Messung steht, führt.
- Extreme Fußfehlstellungen, welche zu einer Verfälschung des Gesamtergebnisses geführt hätten.
  - o extremer Hallux valgus mit massiver Exostose mit resultierendem falschem Ballenumfang und Ballenbreite.
  - o Zehen- und Vorfußamputationen

Es wurden bei einem zutreffenden Ausschlußkriterium nur der die Kriterien erfüllende Fuß aus der Studie ausgeschlossen, nicht automatisch beide Füße. Außerdem hatte der Ausschluss eines bzw. beider Füße keinen Einfluß auf die Erhebung der CRF-Daten. Wurde auf eine Frage des Fragebogens nicht geantwortet, wurde nur für diese Frage eine fehlende Antwort registriert (siehe 3.1).

Für die folgenden manuell vermessenen Fußmaße wurden unter bestimmten Voraussetzungen nur diese Maße ausgeschlossen:

- **Fersenmaß:** hier konnte es durch die getragenen Nylonsocken in manchen Fällen zu Messartefakten kommen, welche zu einer zu großen Fersenbreite in der manuellen Messung führte. Diese Messartefakte konnten aus Softwaregründen nicht umgangen werden. Da diese Artefakte jedoch nur die Fersenbreite und keine weiteren Fußmaße beeinflussten, wurde nur dieses Maß ausgeschlossen.
- **Fußlänge:** in einem Fall wurde allein die Fußlänge aus der Studie ausgeschlossen, da es bei diesem Probanden aufgrund einer extrem über die Großzehe hinausragende 2. Zehe zu einer in Hinsicht auf die gesamte Fußproportion falschen Fußlänge kam.

## 2.10 Statistik

### 2.10.1 Deskriptive Statistik – CRF

Die deskriptive Statistik wurde mit dem Statistikprogramm SPSS 11.5 für Windows durchgeführt. Die ausgewerteten Merkmalsausprägungen wurden quantitativ bestimmt. In einigen Fällen wurde eine Klassenbildung vorgenommen. Die Ergebnisse wurden sowohl tabellarisch mit Häufigkeit und Prozentanteil der Gesamtheit als auch graphisch in Form von Stab- und Kreisdiagrammen dargestellt. Folgende Punkte wurden deskriptiv ausgewertet:

- die ausgeführte Tätigkeit am Arbeitsplatz
- die am Arbeitsplatz ausgeführten Bewegungsfomen
- der Body Mass Index ( BMI ) und die Körpergröße
- das Alter
- die Nationalität
- die getragene Schuhgröße des Arbeitsschuhs
- das Arbeitsschuhmodell bzw. die Sicherheitseinstufung
- die in den Arbeitsschuhen getragenen Einlagen
- die Beschwerden und die äußerlichen Auffälligkeiten beim Tragen des aktuellen Arbeitsschuhs
- die Schmerzanamnese mit Schmerzlokalisation, Schmerzintensität, Schmerzauslöser und Schmerzdauer
- die Beinachse
- die Fußformen und Fußfehlstellungen
- die Sportaktivität

### 2.10.2 Deskriptive Statistik – manuelle/automatische Auswertung

Zur besseren Übersichtlichkeit wurden die Ergebnisse der Größenverteilung der einzelnen automatisch und manuell vermessenen Fußmaße in Form von Kreuztabellen dargestellt.

Folgende Fußmaße, welche auch im Leistenbau verwendet werden, wurden manuell und automatisch ausgewertet und in Kreuztabellen dargestellt: Kleinzechenwinkel, Kleinzechenballen, Großzechenwinkel, Gewölbeanfang und –ende, Ballenumfang, Ristmaß, Taillemaß, Fersenmaß, Gewölbewinkel, Ballenbreite, Ballenlänge, Fersenbreite, Ballenwinkel.

**Tabelle 3: Kreuztabelle, Ballenbreite der Schuhgrößen 40-45 (n=455)**

		Schuhgröße (Scan) + Zugabe					
		40	41	42	43	44	45
Ballenbreite (mm)	85-90	1 2,4%		1 0,9%			
	90-95	6 14,3%	7 8,8%		1 1,1%		
	95-100	15 35,7%	26 32,5%	23 20,7%	14 15,6%	7 8,9%	2 3,8%
	100-105	14 33,3%	33 41,3%	50 45,0%	34 37,8%	17 21,5%	11 20,8%
	105-110	6 14,3%	12 15,0%	26 23,4%	30 33,3%	39 49,4%	27 50,9%
	110-115		2 2,5%	9 8,1%	11 12,2%	15 19,0%	10 18,9%
	115-120			2 1,8%		1 1,3%	3 5,7%
	120-125						
Gesamt		42 100,0%	80 100,0%	111 100,0%	90 100,0%	79 100,0%	53 100,0%

Am Beispiel der Kreuztabelle für die Ballenbreite soll der Aufbau dieser Kreuztabelle erklärt werden. Hierbei wird jeweils das Fußmaß als Zeilenvariable gegen die Schuhgröße als Spaltenvariable aufgetragen. Die Fußmaße wurden unter Betrachtung der Gesamtausprägung und Streuung gruppiert, im



angeführten Beispiel der Ballenbreite in 5mm-Schritten. So wird je Schuhgröße eine absolute und relative Häufigkeit des jeweiligen Fußmaßes angegeben. Die Gruppierung, welche die am häufigsten vorkommenden Fußmaße umfasst, wurde dunkelgrau hinterlegt, um ihre Entwicklung über die Schuhgrößen 40-45 besser verfolgen zu können. Die am zweithäufigsten auftretende Gruppierung wurde hellgrau hinterlegt. Jeweils am Spaltenende ist die Gesamtanzahl der pro Schuhgröße vorkommenden Probanden aufgeführt. Tabelle 4 zeigt für die einzelnen Fußmaße die verwendete Gruppierungseinteilung.

**Tabelle 4: Gruppierung der einzelnen Fußmaße**

Fußmaß	Kleinzehenwinkel, Kleinzehenballen Gewölbeanfang und –ende Ballenbreite Ballenlänge	Ballenumfang Ristmaß Taillemaß	Großzehenwinkel Gewölbewinkel/ Ballenwinkel	Fersenbreite
Gruppierungs- schritte	5mm	10mm	5°/4°	3mm

### 2.10.3 Clusteranalyse

Um eine Typisierung durchführen zu können, war es erforderlich, die oben genannten 13 Fußmaße auf die wesentlichsten Maße einzugrenzen. Dies geschah mit Hilfe der Clusteranalyse.

Bei der Clusteranalyse handelt es sich um ein exploratorisches, Hypothesen generierendes Verfahren, dessen Ziel es ist, Probanden oder Objekte anhand verschiedener Variablen in Gruppen aufzuteilen. Hierbei wird angestrebt, dass sich die Objekte innerhalb dieser Gruppe möglichst wenig unterscheiden, es jedoch zwischen den einzelnen Gruppen möglichst große Unterschiede gibt.

Initial mussten die clusterbildenden Variablen ausgewählt werden, wobei hier darauf geachtet wurde, dass der Fuß in seiner Ganzheit gesehen wurde. Es

sollten Maße des Vorfuß-, Mittel- und Rückfußes in die Clusteranalyse einfließen. Um eine Gleichgewichtung der Merkmale zu erreichen, wurde zunächst eine Faktorenanalyse durchgeführt, anschließend wurden korrelierende Variablen ausgeschlossen. Um die Merkmale miteinander vergleichen zu können, wurden sie standardisiert. Hierzu wurden eine Normierung zur Fußlänge sowie eine z-Transformation durchgeführt. Dadurch erreichte man gleiche Einheiten der einzelnen Merkmale, welche zur Durchführung der Clusteranalyse zwingend sind. Als nächster Schritt wurde ein Ähnlichkeits- bzw. Distanzmaß festgelegt, wobei hier die Euklidische Distanz gewählt wurde, bei der im Gegensatz zur City-Block-Methode große Abweichungen zwischen den Merkmalen stärker gewichtet werden.

Zur Gruppierung wurde ein hierarchisches Verfahren, das Ward-Verfahren gewählt, da dieses etwa gleich große Gruppen bildet. Da hierarchische Verfahren durch Ausreißer zu falschen Ergebnissen führen können, wurden diese mit Hilfe des Single Linkage Verfahrens zunächst eliminiert, bevor das Ward-Verfahren angewendet wurde.

Die Bestimmung der Gruppenzahl wurde unter Berücksichtigung des Dendogramms, der Fehlerquadratsumme und der inhaltlichen Interpretierbarkeit vorgenommen.

Zur Validierung der Clusterlösung wurde die Stichprobe gesplittet, neu berechnet und anschließend miteinander verglichen. Außerdem wurde eine Validierung anhand externer Variablen, die nicht als clusterbildende Variablen genommen wurden (z.B. BMI und Fußform) durchgeführt. Weiterhin wurde ein Vergleich der Clusterzentren zweier Verfahren mithilfe von Kreuztabellen vorgenommen.

### 3 Ergebnisse

**Tabelle 5: Verbleibendes Kollektiv, n=524**

<b>Eingeschlossen in Studie</b>	<b>n</b>
CRF	517 (98,77%)
Rechte Füße	492 (93,9%)
Linke Füße	512 (97,7%)

Insgesamt wurden in die Studie 524 Arbeiter eingeschlossen, von denen 517 sich bereit erklärten, anhand eines Fragebogens Auskunft zu geben. Es wurden 492 rechte Füße und 512 linke Füße berücksichtigt, nachdem nach oben genannten Kriterien (siehe 2.9) bei der manuellen Fußvermessung 32 rechte und 12 linke Füße aus der Studie ausgeschlossen wurden. Bei einem Arbeiter wurde der linke und bei 18 Arbeitern beidseitig lediglich das Fersenmaß aufgrund oben erwähnten Gründen ausgeschlossen. Weiter wurde bei einem einzigen Arbeiter beidseitig wie oben begründet die Fußlänge nicht in die Studie miteinbezogen.

**Tabelle 6: Drop outs**

<b>Gesamter Fuß</b>	<b>Drop outs</b>
rechts	32
links	12
<b>Einzelne Fußmaße</b>	
<b>Fersenmaß</b>	
links	1
bds.	18
<b>Fußlänge</b>	
bds.	1
<b>Fehlender CRF-Bogen</b>	7

### 3.1 CRF– deskriptiv

#### 3.1.1 Ausgeführte Tätigkeiten

**Tabelle 7: ausgeführte Tätigkeiten, n=515**

<b>Tätigkeitsgebiet</b>	<b>Häufigkeit</b>	<b>Prozent</b>
Presswerk	125	24,7
Autozulieferbetrieb	91	17,7
Auszubildender	82	15,9
Gießerei	55	10,7
Schuhfertigung	49	9,5
Karosseriebau	19	3,7
Montage	18	3,5
Lackiererei	15	2,9
Ver- und Entsorgung	14	2,7
Verwaltung	12	2,3
Schalldämpferbau	8	1,6
Staplerfahrer	7	1,4
Lager/Logistik	5	1,0
Kfz-Mechaniker	4	0,8
Werkstatt	3	0,6
Schlosser	3	0,6
Elektriker	2	0,4
Schreinerei	1	0,2
Polsterei	1	0,2
Nullserienanlagenbetreuer	1	0,2

Die deskriptive Auswertung der Tätigkeit am Arbeitsplatz zeigt, dass ein Großteil der untersuchten Industriearbeiter im Presswerk (125) und in der Produktion eines Autozulieferbetriebes (91) beschäftigt waren. Weiter waren 82 der Untersuchten noch in der Ausbildung und arbeiteten in einer Lehrwerkstatt. Große Gruppen stellten auch Beschäftigte der Gießerei (55) und der Schuhfertigung (49) dar.

### 3.1.2 Arbeitszeit

**Tabelle 8: Arbeitszeit in Jahren, gruppiert in 5 Jahres-Schritten, n=514**

Arbeitszeit in Jahren	Häufigkeit	Prozent
0-5	173	33,7
5-10	80	15,6
10-15	71	13,8
15-20	71	13,8
20-25	46	8,9
25-30	43	8,4
30-35	19	3,7
35-40	11	2,1

Ein Drittel der Arbeiter war erst bis zu 5 Jahre im Betrieb beschäftigt, 80 bzw. je 71 bis 10, 15 oder 20 Jahre. Ca. 20% arbeiteten länger als 20 Jahre im Betrieb.

### 3.1.3 Bewegungsformen

**Tabelle 9: Auftreten häufig vorkommender Bewegungsformen bei möglicher Mehrfachantwort, n=1193 und in Bezug auf das gesamte Untersuchungskollektiv (n=517)**

Bewegungsformen	Häufigkeit	Prozent von n=517
Drehbewegungen	410	79,3
Hebearbeiten	263	50,9
Überkopfarbeiten	104	20,1
Gebeugte Haltung	342	66,9
Arbeiten auf den Knien	74	14,3

**Tabelle 10: Dauer (in Stunden) gehender, stehender, gehend-stehender und sitzender Tätigkeit pro Arbeitstag bei Mehrfachantwortmöglichkeit, gruppiert in 3h-Schritten**

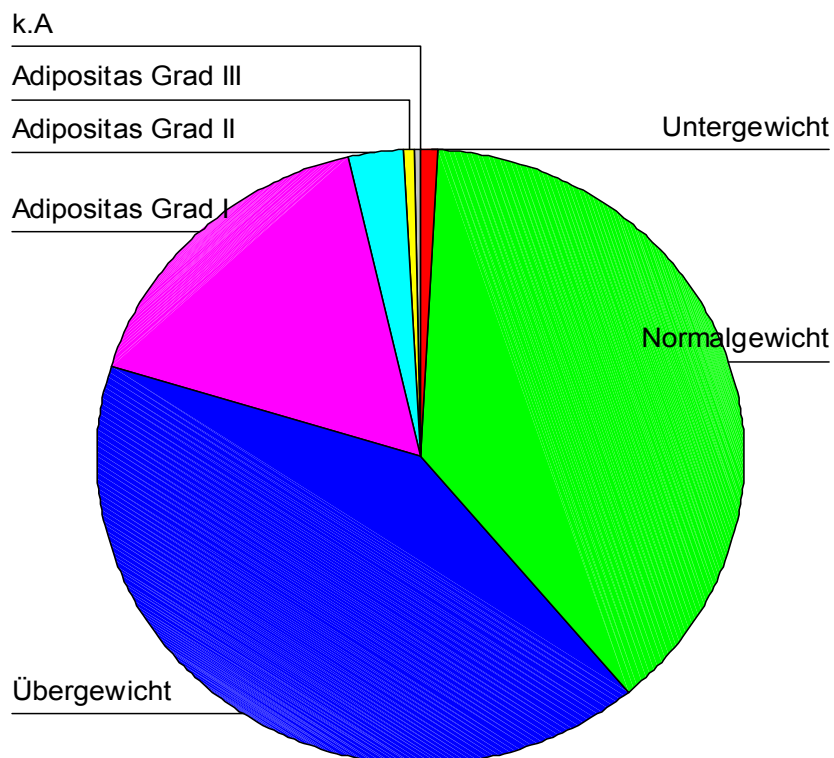
Dauer	Gehen n (%)	Stehen	Gehen-Stehen	Sitzen
bis 3h	<b>43 (54)</b>	24 (14)	2 (1)	<b>312 (82)</b>
bis 6h	23 (29)	29 (17)	19 (6)	44 (12)
bis 9h	12 (15)	<b>115 (69)</b>	<b>274 (92)</b>	23 (6)
bis 12h	1 (1)	2 (1)	2 (1)	1 (<1)
Gesamt	79 (100)	170 (100)	297 (100)	380 (100)
Anteil von n=517 (%)	<b>14</b>	<b>33</b>	<b>57</b>	<b>73</b>

Bei möglicher Mehrfachantwort, gaben 79,3% der Arbeiter an, dass ihre Tätigkeit Drehbewegungen im Oberkörper beinhalte. 50,9% müssten regelmäßige Hebearbeiten, 20,1% Überkopfarbeiten, 66,9% in gebeugter Arbeitshaltung und 14,3% Tätigkeiten auf den Knien ausführen.

14% aller Arbeiter müssen bei ihrer Arbeit gehen, davon die Mehrzahl mit 54% bis zu einer Dauer von 3 Stunden je Arbeitstag. Eine Tätigkeit im Stehen müssen 33% aller Untersuchten ausführen, wobei 69% dies bis zu 9 Stunden täglich tun. Sowohl Gehen als auch Stehen müssen 57% aller Arbeiter, davon 92% bis zu 9h am Tag und einer sitzenden Tätigkeit kommen 73% aller Arbeiter nach, dies mehrheitlich jedoch nur bis zu einer Dauer von 3h täglich. Auch bei diesen Fragen bestand eine Mehrfachantwortmöglichkeit.

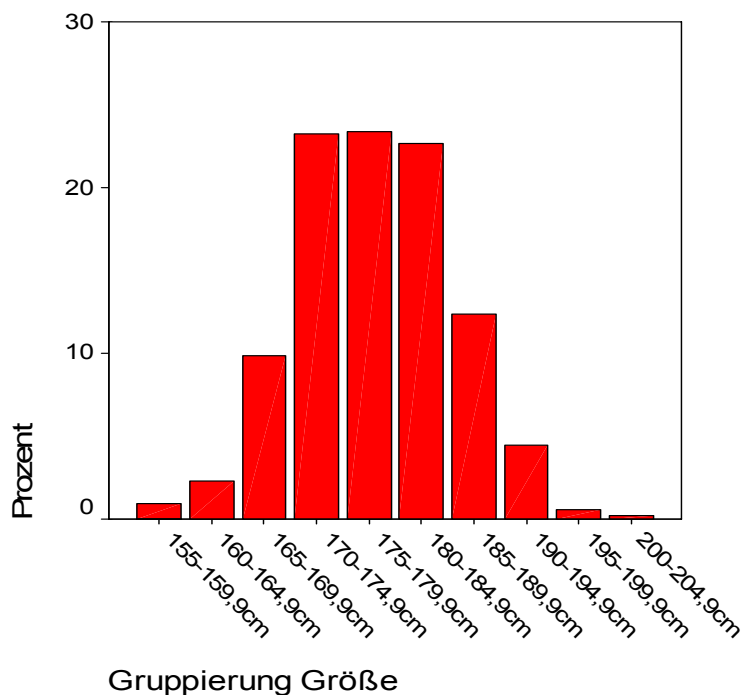
3.1.4 BMI, Körpergröße**Tabelle 11: BMI – Verteilung nach der WHO-Klassifikation, n=516**

WHO-Klassifikation	Häufigkeit	Prozent
Untergewicht	5	1,0
Normalgewicht	196	38,0
Übergewicht	211	40,9
Adipositas Grad 1	86	16,7
Adipositas Grad 2	14	2,7
Adipositas Grad 3	4	0,8

**Abbildung 19: BMI– Verteilung nach der WHO-Klassifikation, n=516**

Bei 516 Arbeitern war der Body Mass Index zu berechnen, lediglich ein Arbeiter verweigerte die Erfassung von Größe und Gewicht. 38 % der Arbeiter lagen in einem BMI-Bereich von  $18,5 - 25 \text{ kg / (m)}^2$  und waren damit normalgewichtig. 211 Arbeiter sind als übergewichtig zu bezeichnen, 104 Arbeiter fallen in den BMI-Bereich der Adipositas Grad I-III. Lediglich 5 Probanden waren untergewichtig.

**Abbildung 20: Körpergröße der Untersuchten (in cm), gruppiert in 5mm-Schritten, n=517**

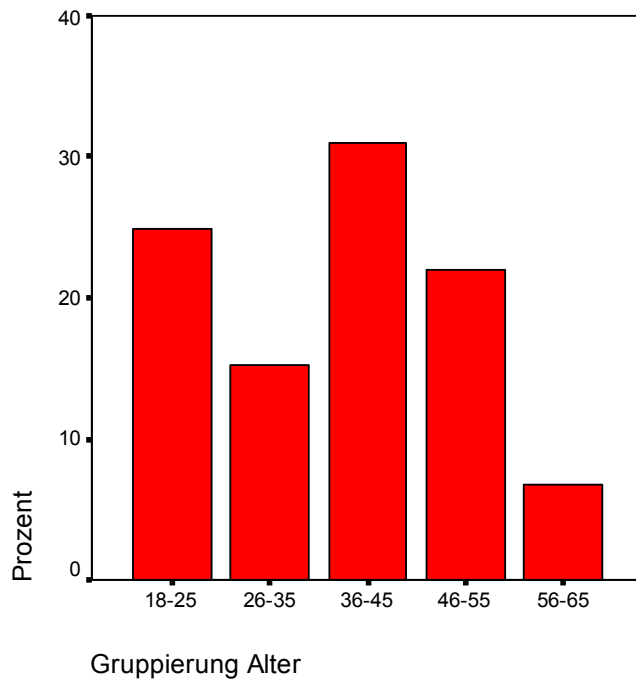


Die Körpergröße variierte zwischen 155 cm und 204,9 cm, wobei der Großteil der Arbeiter zwischen 170 cm und 184,9 cm groß war.



### 3.1.5 Alter

**Abbildung 21: Altersverteilung, n=517**



Die Arbeiter waren im Durchschnitt 37 Jahre alt, der jüngste 18 und der älteste Studienteilnehmer 62 Jahre.

3.1.6 Nationalität**Tabelle 12: Nationalitäten der untersuchten Arbeiter, n=517**

<b>Nationalität</b>	<b>Häufigkeit</b>	<b>Prozent</b>
Deutschland	438	84,7
Türkei	34	6,6
Polen	13	2,5
Italien	4	0,8
Portugal	3	0,6
Kroatien	3	0,6
England	2	0,4
Österreich	2	0,4
Rumänien	2	0,4
Kasachstan	2	0,4
Russland	2	0,4
Marokko	2	0,4
Spanien	1	0,2
Tunesien	1	0,2
Serbien	1	0,2
Tatschikistan	1	0,2
Belgien	1	0,2
Eritrea	1	0,2
Bosnien	1	0,2
Frankreich	1	0,2
Mazedonien	1	0,2
Afghanistan	1	0,2

Unter 517 Arbeitern waren 22 Nationalitäten vertreten. Die überwiegende Mehrzahl der Arbeiter waren mit 84,7% deutschstämmig, 6,6% waren türkischer und 2,5% polnischer Abstammung. Die übrigen Nationalitäten waren mit weniger als je 4 Arbeitern vertreten.

3.1.7 Schuhgröße**Tabelle 13: Verteilung der Schuhgröße (39-49) bei den untersuchten Arbeitern, n=503**

<b>Schuhgröße</b>	<b>Häufigkeit</b>	<b>Prozent</b>
39	1	0,2
40	23	4,6
41	32	6,4
<b>42</b>	<b>102</b>	<b>20,3</b>
<b>43</b>	<b>131</b>	<b>26,0</b>
<b>44</b>	<b>99</b>	<b>19,7</b>
<b>45</b>	<b>63</b>	<b>12,5</b>
46	36	7,2
47	8	1,6
48	7	1,4
49	1	0,2

Insgesamt 503 Arbeiter konnten Angaben zu der Schuhgröße der aktuell getragenen Arbeitsschuhe machen. Sie schwankte zwischen der Größe 39 und 49, wobei die Schuhgröße 43 mit 26% am häufigsten getragen wurde. Dahinter folgten die Größen 42 mit 20,3% und 44 mit 19,7%. Die Größe 45 war mit 12,5% die vierthäufigst getragene Größe.

3.1.8 Arbeitsschuhe (Hersteller, Sicherheitseinteilung)**Tabelle 14: vertretene Arbeitsschuhhersteller, n=502**

Arbeitsschuhhersteller	Häufigkeit	Prozent
Van Elten	254	50,6
Uvex	66	13,1
Bata	65	12,9
Wohlfarth	48	9,6
Lupos	32	6,4
Atlas	30	6,0
Otter	6	1,2
Baltes	1	0,2

**Tabelle 15: Sicherheitseinstufung bei den getragenen Arbeitsschuhen, n=477**

Sicherheitseinstufung	Häufigkeit	Prozent
S1	286	60,0
S2	185	38,8
SB/S0	6	1,3

Bei 502 Arbeitern konnte die Marke des aktuell getragenen Arbeitsschuhs und bei 477 die Sicherheitseinteilung des Schuhs ermittelt werden.

Am häufigsten Vertreten waren Schuhe der Elten GmbH mit 50,6% gefolgt von Uvex (13,1%), Bata (12,9%), Wohlfarth (9,6%), Lupos (6,4%), Atlas (6%), Otter (1,2%) und Baltes (0,2%).

60% der Schuhe waren mit der Sicherheitsstufe „S1“ klassifiziert, 38,8% mit „S2“ und 1,3% mit „SB“.

### 3.1.9 Getragene Einlagen im Arbeitsschuh

**Tabelle 16: Art der von den Arbeitern getragenen Einlagen, n=72 bei Mehrfachantwortmöglichkeit**

Art der Schuheinlage	Häufigkeit	Prozent
-orthopädisch mit Pelotte	20	27,8
-dämpfende Einlage	19	26,4
-„Antischweißeinlage“	11	15,3
-sonstige orthopädische E.	11	15,3
-Ledereinlage	7	9,7
-Einlage mit Fußerrhöhung	5	6,9
-orthopädisch mit Längsgewölbestütze	5	6,9
-Einlage mit Seitenranderhöhung	1	1,4

Bei 515 Arbeitern konnten Daten über getragene Einlagen im Arbeitsschuh ermittelt werden, 2 Arbeiter machten keine Angaben dazu. Hiervon trugen 72 Arbeiter Einlagen, wobei davon 27,8% orthopädische Einlagen mit Pelotte, 26,4% dämpfende Einlagen, 15,3% Antischweißeinlagen, 9,7% Ledereinlagen, je 6,9% orthopädische Einlagen mit Längsgewölbestütze und Einlagen mit Fußerrhöhung und 15,3% sonstige orthopädische Einlagen trugen. Lediglich ein Arbeiter trug Einlagen mit Seitenranderhöhung in seinem Arbeitsschuh. Sieben trugen Kombinationen aus oben genannten Einlagen.

3.1.10 Beschwerden und äußerliche Auffälligkeiten beim Tragen des aktuellen Arbeitsschuhs

**Tabelle 17: Häufigkeit und Art der Beschwerden links (n=702)/ rechts (n=692) bei Mehrfachantwortmöglichkeit und im Bezug auf Arbeiter mit Beschwerden ( re.:n=401/li.: n=400)**

Art der Beschwerden	links		rechts	
	Häufigkeit	Prozent (von n=401)	Häufigkeit	Prozent ( von n=400)
- <b>Schwiele</b> medial an der Großzehe	187	46,6	185	46,3
- <b>Schwiele</b> lateral an der Kleinzehe	113	28,2	113	28,3
- <b>Schwiele</b> medial von MTK1	15	3,7	12	3,0
- <b>Schwiele</b> lateral von MTK5	8	0,25	9	2,3
- <b>Schwiele</b> unter MTK1	22	5,5	17	4,3
- <b>Schwiele</b> unter MTK5	16	4,0	16	4,0
- <b>Schwiele</b> unter MTK 2-4	48	12,0	43	10,8
- <b>Schwiele</b> Ferse	26	6,5	26	6,5
- <b>Clavus</b> 2. Zehe	34	8,5	36	9,0
- <b>Clavus</b> 3. Zehe	22	5,5	24	6,0
- <b>Clavus</b> 4. Zehe	23	5,7	24	6,0
- <b>Clavus</b> 5. Zehe	8	2,0	11	2,8
- Rötung Spann	3	0,7	3	0,8
- Schuh zu eng	15	3,7	15	3,8
- Schwitzen	102	25,4	101	25,3
- Brennen Fußsohle	60	15,0	57	14,3

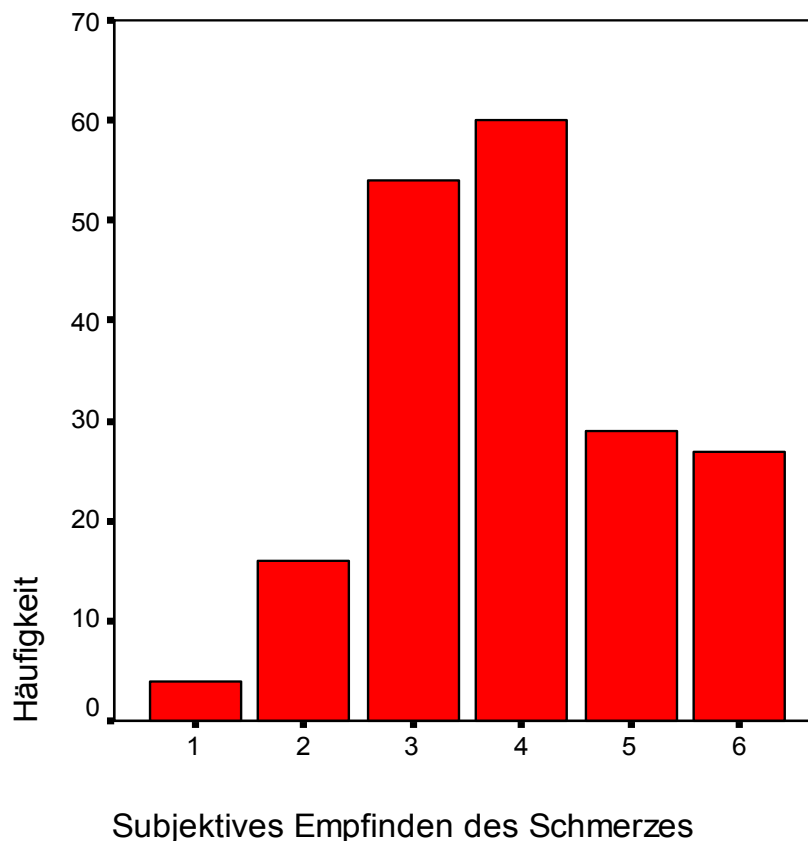
**Abbildung 22: Schwielenlokalisierung, Vorfuß**

- 1: Schwielen lateral an der Kleinzeh
- 2: Schwielen lateral von MTK 5
- 3: Schwielen medial an der Großzehe
- 4: Schwielen medial von MTK 1

Von den 517 untersuchten Arbeitern gaben 401 bzw. 400 an, Beschwerden mit den getragenen linken bzw. rechten Arbeitsschuhen zu haben. Tabelle 17 und Abbildung 22 zeigen die Art der Beschwerden. Die Beschwerden waren in der Regel an beiden Füßen vorhanden. Fast die Hälfte aller Untersuchten zeigte eine vermehrte Schwielenbildung an der Medialseite der Großzehe und beinahe ein Drittel lateral an der Kleinzeh. Häufig waren zudem ein Brennen an der Fußsohle, vermehrtes Schwitzen im Arbeitsschuh und eine Schwielenbildung unter den Metatarsalköpfchen 2 bis 4.

3.1.11 Schmerzanamnese**Tabelle 18: Lokalisation des Hauptschmerzes, n=233**

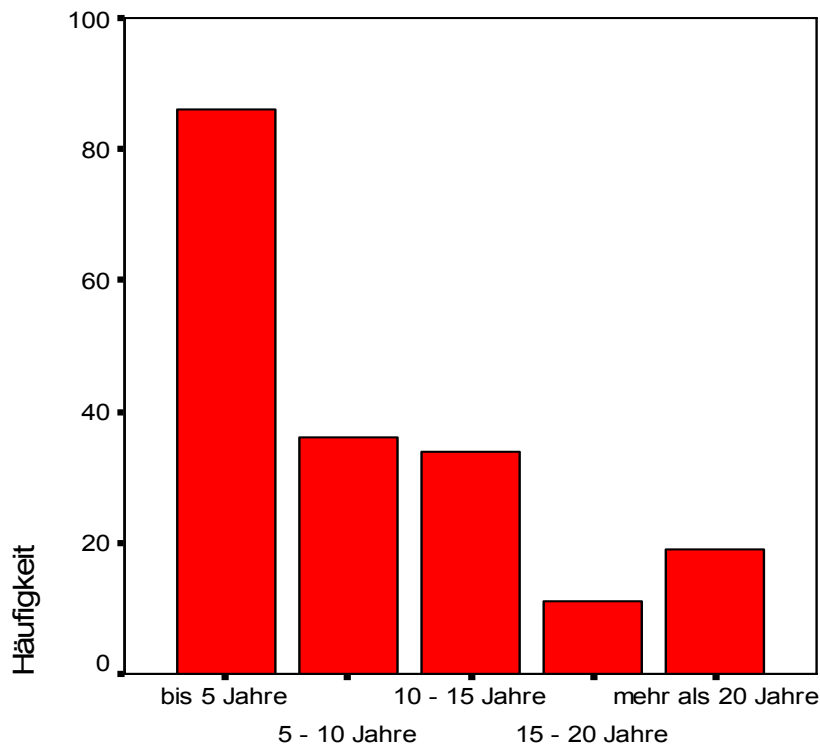
Schmerzlokalisierung	Häufigkeit	Prozent
Halswirbelsäule	18	7,7
Brustwirbelsäule	10	4,3
Lendenwirbelsäule	150	64,4
Hüfte	10	4,3
Knie + Patella	41	17,6
Knöchel	4	1,7

**Abbildung 23: Schmerzintensität anhand Schulnotenskala von 1(sehr leichter Schmerz) bis 6 (sehr starker Schmerz), n=195**



**Tabelle 19: Schmerzauslösende Situation, n=143**

Schmerzauslösende Situation	Häufigkeit	Prozent
bei langem Stehen	34	23,8
bei langem Gehen	11	7,7
bei langem Sitzen	12	8,4
bei Drehbewegungen	39	27,3
bei gebückter Arbeitshaltung	15	10,5
beim Treppensteigen	12	8,4
bei Hebearbeiten	20	14

**Abbildung 24: Zeitraum über den der Schmerz bereits existiert, n=186**

Bei insgesamt 515 Arbeitern wurde eine Schmerzanamnese erhoben. Von diesen klagten 233 über Schmerzen. Als Hauptschmerz gaben hierbei 150 Arbeiter Schmerzen in der Lendenwirbelsäule, 18 Schmerzen in der Halswirbelsäule und 10 Schmerzen in der Brustwirbelsäule an. Weitere Schmerzlokalisationen waren die Knie, die Hüfte und die Knöchel.

Auf einer Schmerzskala von 1 (sehr leichter Schmerz) bis 6 (sehr starker Schmerz) schätzten insgesamt 195 der 233 Arbeiter ihren Hauptschmerz in Bezug der Schmerzintensität ein. 60 Arbeiter stufen ihren Schmerz auf eine Schmerzintensität von 4, 57 auf 3, 30 auf 5 und 28 auf 6 ein. Lediglich 4 Arbeiter empfanden ihren Hauptschmerz als einen sehr leichten Schmerz.

In Bezug auf einen schmerzauslösenden Reiz konnte von 143 der 233 Arbeitern Informationen gewonnen werden. Bei 39 waren Drehbewegungen, bei 34 langes Stehen, bei 29 schweres Heben, bei 15 Arbeiten in gebückter Arbeitshaltung, bei je 12 Treppensteigen und langes Sitzen und bei 11 lange andauerndes Gehen der Auslöser ihrer Schmerzen.

Auf die Frage hin wie lange die Schmerzen bereits bestünden, konnten 186 der 233 Arbeitern Angaben machen. Am häufigsten mit 86 Arbeitern bestanden die Schmerzen weniger als 5 Jahre. 36 bzw. 34 Arbeiter klagten über bis 10 bzw. bis 15 Jahre andauernde Schmerzen zum Zeitpunkt der Untersuchung, bei 11 persistierten die Schmerzen seit bis zu 20 Jahren und 19 litten bereits mehr als 20 Jahre an ihren Schmerzen.

### 3.1.12 Beinachse

Die Beurteilung der Beinachse wurde an insgesamt 501 von 517 Arbeitern durchgeführt. Davon hatten 211 eine gerade Beinachse, 52 eine Valgus-Stellung und 238 eine Varus-Stellung.

### 3.1.13 Sportaktivität

**Tabelle 20: Sportaktivität in Stunden(h) pro Woche, n=287**

<b>Sportaktivität pro Woche</b>	<b>Häufigkeit</b>	<b>Prozent</b>
bis 2h/Woche	64	22,3
bis 4h/Woche	88	30,7
bis 6h/Woche	72	25,1
>6h/Woche	63	22

287 der 517 Industriearbeiter gaben an Sport zu treiben, davon etwa je 25% bis zu 2, 4, 6 und mehr Stunden pro Woche.

### 3.1.14 Fußformen, Fußfehlstellungen

#### 3.1.14.1 Fußspitzenform

**Tabelle 21: Fußspitzenform links (n=498) / rechts (n=497)**

<b>Fußspitzenform</b>	<b>links</b>		<b>rechts</b>	
	Häufigkeit	Prozent (n=498)	Häufigkeit	Prozent (n=497)
griechisch	95	19,1	93	18,7
ägyptisch	365	73,3	364	73,2
quadratisch	38	7,6	40	8,0

Die Fußspitzenform des linken Fußes wurde bei 498 Arbeitern, die des rechten Fußes bei 497 der insgesamt 517 Arbeitern beurteilt.

Am häufigsten waren sowohl links ( 365 ) als auch rechts ( 364 ) die ägyptische Form, 95 ( linker Fuß ) bzw. 93 ( rechter Fuß ) Arbeiter hatten eine griechische Fußspitzenform und 38 linke bzw. 40 rechte Füße wiesen eine quadratische Form auf.

3.1.14.2 Knick-Senkfuß**Tabelle 22: Häufigkeit eines Knick-Senkfuß, n=516**

<b>Knick-Senk- Fuß</b>	<b>links</b>		<b>rechts</b>	
	Häufigkeit	Prozent (n=516)	Häufigkeit	Prozent (n=516)
ja	261	50,6	258	50,0
nein	255	49,4	258	50,0

516 Arbeiter wurden auf einen Knick-Senkfuß hin untersucht. 261 linke bzw. 258 rechte Füße wiesen diese Fehlstellung auf, was einem Anteil von je ca. 50% entsprach.

3.1.14.3 Hohlfuß**Tabelle 23: Häufigkeit eines Hohlfußes, n=516**

<b>Hohlfuß</b>	<b>links</b>		<b>rechts</b>	
	Häufigkeit	Prozent (n=516)	Häufigkeit	Prozent (n=516)
ja	126	24,4	124	24,0
nein	390	75,6	392	76,0

Bei 516 auf Hohlfüße hin untersuchten Arbeitern wiesen 126 linke und 124 rechte Füße das Bild eines Hohlfußes auf.

3.1.14.4 Spreizfuß**Tabelle 24: Häufigkeit eines Spreizfuß, n=502**

Spreizfuß	links		rechts	
	Häufigkeit	Prozent (n=502)	Häufigkeit	Prozent (n=502)
ja	297	59,2	297	59,2
nein	205	40,8	205	40,8

297 von 502 untersuchten Arbeitern wiesen beidseitig einen Spreizfuß auf.

3.1.14.5 Hallux valgus**Tabelle 25: Häufigkeit eines Hallux valgus, n=517**

Hallux valgus	Häufigkeit	Prozent
ja	136	26,3
nein	381	73,7

Von 517 untersuchten Arbeitern hatten 136 bzw. 26,3% einen Hallux valgus mit einer Großzehendeformation von 10 Grad oder mehr.

3.1.14.6 Hammerzehe**Tabelle 26: Häufigkeit von Hammerzehen, n=516**

Hammerzehe	links		rechts	
	Häufigkeit	Prozent (n=516)	Häufigkeit	Prozent (n=516)
ja	29	5,6	29	5,6
nein	487	94,4	487	94,4

Je 29 Arbeiter von insgesamt 516 auf eine Hammerzehe hin untersuchten Arbeitern hatten links bzw. rechts diese Zehendeformität.

### 3.2 Größenverteilung zu verschiedenen Fußmaßen

Die Tabellen 27-30 zeigen deskriptiv die Größenverteilung der bei der nachfolgenden Clusteranalyse verwendeten Variablen, „Ballenbreite“, „Fersenbreite“, „Ballenwinkel“ und „Ballenlänge“ (Definition siehe manuelle Auswertung 2.7). Für die Auswertung wurden unterschiedliche Verteilungs- bzw. Größengruppen gebildet, welche dann gegen die tatsächlich getragenen Schuhgrößen 40-45 aufgetragen wurden. Bei der Ballenbreite und der Ballenlänge wurden Gruppen in 5mm-Schritten, bei der Fersenbreite in 3mm-Schritten und beim Ballenwinkel in 4 Grad- Schritten gebildet.

Dunkelgrau wurde jeweils die Gruppe hinterlegt, welche bei der jeweiligen Schuhgröße am häufigsten vorkam, hellgrau diejenige Gruppe, welche am zweithäufigsten vertreten war.

#### **Ballenbreite**

**Tabelle 27: Größenverteilung „Ballenbreite“, im Bezug zur getragenen Schuhgröße, n=455**

		Schuhgröße (Scan) + Zugabe					
		40	41	42	43	44	45
Ballenbreite (mm)	85-90	1 2,4%		1 0,9%			
	90-95	6 14,3%	7 8,8%		1 1,1%		
	95-100	15 35,7%	26 32,5%	23 20,7%	14 15,6%	7 8,9%	2 3,8%
	100-105	14 33,3%	33 41,3%	50 45,0%	34 37,8%	17 21,5%	11 20,8%
	105-110	6 14,3%	12 15,0%	26 23,4%	30 33,3%	39 49,4%	27 50,9%
	110-115		2 2,5%	9 8,1%	11 12,2%	15 19,0%	10 18,9%
	115-120			2 1,8%		1 1,3%	3 5,7%
Gesamt		42 100,0%	80 100,0%	111 100,0%	90 100,0%	79 100,0%	53 100,0%

Beim Blick auf die Hauptgruppen zeigt sich eine weitgehend proportional zur Schuhgröße zunehmende Ballenbreite, wobei sich die Hauptgruppen in einem

Bereich von 95 bis 110 mm Ballenbreite befinden. Auffällig ist, dass 75% der Füße pro Schuhgröße um mehr als 10 mm mit der Ballenbreite auseinander weichen bzw. 3 Gruppen nötig sind um mind. 75% der Füße abzudecken.

### Fersenbreite

**Tabelle 28: Größenverteilung „Fersenbreite“ im Bezug zur getragenen Schuhgröße, n=437**

		Schuhgröße (Scan) + Zugabe					
		40	41	42	43	44	45
Fersenbreite (mm)	47-50		1 1,3%				
	50-53	4 9,5%	4 5,1%	1 1,0%	2 2,2%	1 1,3%	
	53-56	9 21,4%	5 6,3%	4 3,9%	6 6,7%	3 3,9%	
	56-59	14 33,3%	24 30,4%	26 25,2%	12 13,5%	4 5,3%	3 6,3%
	59-62	11 26,2%	37 46,8%	34 33,0%	34 38,2%	25 32,9%	11 22,9%
	62-65	3 7,1%	7 8,9%	31 30,1%	25 28,1%	26 34,2%	14 29,2%
	65-68	1 2,4%	1 1,3%	6 5,8%	8 9,0%	13 17,1%	16 33,3%
	68-71			1 1,0%	2 2,2%	2 2,6%	4 8,3%
	71-74			1		2 2,6%	
Gesamt	42 100,0%	79 100,0%	103 100,0%	89 100,0%	76 100,0%	48 100,0%	

Bei der Fersenbreite verhalten sich die Hauptgruppen ebenfalls so, dass von Schuhgröße 40 bis 45 eine Breitenzunahme von 56 auf 68 mm zu sehen ist, wobei sich die Hauptgruppen der Schuhgrößen 41 bis 43 in einem Fersenbreitenbereich von 59 bis 62 mm befinden. Wie bei der Ballenbreite weichen mehr als 75% aller Füße pro Schuhgröße um mehr als 6 mm auseinander bzw. sind 3 Gruppen zur Abdeckung von mind. 75% aller Füße je Schuhgröße nötig.

## Ballenwinkel

**Tabelle 29: Größenverteilung „Ballenwinkel“ im Bezug zur getragenen Schuhgröße, n=448**

		Schuhgröße (Scan) + Zugabe					
		40	41	42	43	44	45
Ballenwinkel (in Grad)	11-15	3 7,1%	4 5,1%	6 5,6%	7 7,9%	6 7,7%	3 5,7%
	15-19	20 47,6%	42 53,8%	53 49,5%	46 51,7%	38 48,7%	23 43,4%
	19-23	19 45,2%	29 37,2%	44 41,1%	33 37,1%	31 39,7%	26 49,1%
	23-27		3 3,8%	4 3,7%	3 3,4%	3 3,8%	1 1,9%
Gesamt		42 100,0%	78 100,0%	107 100,0%	90 100,0%	78 100,0%	53 100,0%

Hier zeigt sich eine über alle Schuhgrößen gleiche Verteilung mit den Hauptgruppen bis auf Schuhgröße 45 (19 bis 23 Grad) in einem Bereich zwischen 15 und 19 Grad, wobei sich je Schuhgröße ca. 90% aller Füße in einem Winkelbereich von 19 bis 23 Grad befinden.



## Ballenlänge

**Tabelle 30: Größenverteilung „Ballenlänge“ im Bezug zur getragenen Schuhgröße, n=452**

		Getragene Schuhgrößen					
		40	41	42	43	44	45
Ballenlänge (mm)	175-180	1 2,4%					
	180-185	24 57,1%	7 8,9%	1 0,9%			
	185-190	15 35,7%	38 48,1%	9 8,2%	1 1,1%		
	190-195	2 4,8%	31 39,2%	56 50,9%	8 8,9%	1 1,3%	
	195-200		3 3,8%	40 36,4%	52 57,8%	15 19,0%	1 1,9%
	200-205			4 3,6%	25 27,8%	41 51,9%	8 15,4%
	205-210				4 4,4%	19 24,1%	28 53,8%
	210-215					3 3,8%	14 26,9%
	215-220						1 1,9%
Gesamt		42 100,0%	79 100,0%	110 100,0%	90 100,0%	79 100,0%	52 100,0%

Die Ballenlänge steigert sich mit ihren Hauptgruppen proportional zur Schuhgröße von 180 bis 210 mm, wobei je Schuhgröße die Hauptgruppe und die am zweithäufigsten vertretene Gruppe je mindestens 75% der Füße beinhalten.

Auf die Kreuztabellen der weiteren manuell und automatisch bestimmten Fußmaße (Kleinzehenwinkel, Kleinzehenballen, Großzehenwinkel, Gewölbeanfang und- ende, Ballenumfang, Ristmaß, Tailenmaß, Fersenmaß und Gewölbewinkel) wird an dieser Stelle nicht eingegangen, da sie für die weitere Auswertung keine Rolle spielten. Die entsprechenden Tabellen sind im Anhang (siehe 7.4) aufgeführt.

### 3.3 Clusteranalyse – Fußtypisierung

Nach der Faktorenanalyse erschien zunächst eine Clusteranalyse mit 6 Variablen (Ballenlänge MFK1, Ballenbreite, Ballenwinkel, Fersenbreite, Spannhöhe und Taillenmaß) sinnvoll, da diese die Fußform am besten zu beschreiben schien. Bei Betrachtung der Ergebnisse zeigte sich jedoch, dass keine einheitlichen Muster bzw. Fußtypen zu erkennen waren und das Taillenmaß und auch die Spannhöhe eine einheitliche Mustererkennung unmöglich machten. Daher wurde im nächsten Schritt auf das Taillenmaß verzichtet und eine Clusteranalyse mit 5 Variablen durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass auch hier die Spannhöhe eine einheitliche Mustererkennung unmöglich machte. Erst die als Konsequenz durchgeführte Clusteranalyse mit 4 Variablen (Ballenlänge MFK 1, Ballenbreite, Ballenwinkel und Fersenbreite) führte zum endgültigen Ziel der einheitlichen Fußtypisierung, die innerhalb der einzelnen Schuhgrößen teilweise in der Ballen- und Fersenweite variabel ist.

**Tabelle 31: Fußtypen der Größe 42 (n=100) und ihre Ausprägung in den Variablen**

	Ballenlänge MFK1 (% Fußlänge)	Ballenbreite (% Fußlänge)	Ballenwinkel (°)	Fersenbreite (% Fußlänge)
Fußtyp 1	74	40-41	20-21	23-24
Fußtyp 2	72	38-39	15-17	23
Fußtyp 3	73	37-38	18-20	22

**Tabelle 32: Fußtypen der Größe 43 (n=127 ) und ihre Ausprägung in den Variablen**

	Ballenlänge MFK1 (% Fußlänge)	Ballenbreite (% Fußlänge)	Ballenwinkel (°)	Fersenbreite (% Fußlänge)
Fußtyp 1	74	39-40	20-21	<b>22-23</b>
Fußtyp 2	72	37-39	16-17	<b>22-23</b>
Fußtyp 3	73	36-37	18-19	<b>21-22</b>

**Tabelle 33: Fußtypen der Größe 44 (n= 92) und ihre Ausprägung in den Variablen**

	Ballenlänge MFK1 (% Fußlänge)	Ballenbreite (% Fußlänge)	Ballenwinkel (°)	Fersenbreite (% Fußlänge)
Fußtyp 1	74	39-40	20-21	<b>22-23</b>
Fußtyp 2	72	37-38	16-17	<b>22-23</b>
Fußtyp 3	73	36-37	18-19	<b>21-22</b>

Die Tabellen 31-33 zeigen die Fußtypen in den jeweiligen Größen mit ihren Ausprägungen in den Variablen. Die Variablen Ballenlänge, Ballenbreite und Fersenbreite sind jeweils in % der Fußlänge angegeben, der Ballenwinkel wird als Absolutmaß in Grad angegeben. Die Ballenlänge, die Ballenbreite und die Fersenbreite sind zur real gemessenen Fußlänge normiert (ohne Zugabe).

Hier aufgeführt werden die Ergebnisse der 3 am häufigsten vorkommenden Schuhgrößen 42 (n=100), 43 (n=127) und 44 (n=92).

Die Clusteranalyse mit diesen 4 Variablen ergab folgende Fußtypen:

**Fußtyp 1:** kurze Zehenlänge, breite Ballenweite, steiler Ballenwinkel

**Fußtyp 2:** lange Zehenlänge, mittlere Ballenweite, flacher Ballenwinkel

**Fußtyp 3:** mittlere Zehenlänge, schmale Ballenweite, mittlerer Ballenwinkel

Die Zehenlänge ergibt sich aus der Subtraktion der Ballenlänge von der Fußlänge.

Wie aus den Tabellen zu entnehmen ist, bleiben die Ballenlänge und der Ballenwinkel über die einzelnen Schuhgrößen stabil, die Ballen- und die Fersenweite scheinen mit der Zunahme der Größe etwas abzunehmen.

### 3.4 Fußtypen - Leistenvergleich

**Tabelle 34: aktuelle Leisten Van Elten (normiert zur Fußlänge nach Abzug der Zugabe)**

Leisten	Ballenlänge (% Fußlänge)	Ballenbreite (% Fußlänge)	Ballenwinkel (°)	Fersenbreite (% Fußlänge)
<b>Biomex</b>	78-79	35-36	10-11	22-23
<b>Cross</b>	76-77	35-36	12-13	22
<b>Kairo</b>	75-76	35-36	14	23-24
<b>Köln</b>	76-77	35	12	22
<b>Natur 10w</b>	77-78	36	13	22
<b>Natur</b>	77-78	35-36	11	22
<b>Natur 9w</b>	76-77	35	12	22
<b>Sport</b>	75-76	34-35	10	22
<b>ST Köln</b>	76-77	35-36	12	22-23
<b>ST Natur</b>	76-77	35-36	11-12	22
<b>Fußtyp 1</b>	74	39-41	20-21	22-24
<b>Fußtyp 2</b>	72	37-39	15-17	22-23
<b>Fußtyp 3</b>	73	36-38	18-20	21-22

Die Tabelle zeigt die Messergebnisse der einzelnen Leistenmodelle der Elten GmbH normiert zur Fußlänge (Ballenwinkel angegeben als Absolutmaß) nach Abzug der Zugabe.

Bei der Ballenlänge bewegen sich alle Leistenmodelle in einem Bereich von 75 bis 79 % der Fußlänge, bei der Ballenbreite in einem Bereich von 34 bis 36 % der Fußlänge. Der Ballenwinkel liegt bei allen Modellen zwischen 10 und 14 Grad und die Fersenbreite zwischen 22 und 24% der Fußlänge.

Dem gegenüber gestellt sind die Werte der bei der Clusteranalyse ermittelten Fußtypen.

3.5 Großzehenwinkel – Vergleich Leisten-/Fußmaße**Tabelle 35: Großzehenwinkel – Leisten-/Fußmaße**

Schuhgröße	Großzehenwinkel (in Grad)						Fuß	Häufigkeitsverteilung
	Biomex	Cross	Kairo	Natur	Sport	Köln		
<b>41</b>	92,1	87,8	86	90,5	89,2	87,8	95-100	16 20,0%
							100-105	38 47,5%
							105-110	10 12,5%
<b>42</b>	92,3	88,2	85,9	91,1	89,7	87,1	95-100	35 31,5%
							100-105	40 36,0%
							105-110	15 13,5%
<b>43</b>	91,4	87,9	93,1	91,2	90,1	88	95-100	23 25,6%
							100-105	29 32,2%
							105-110	21 23,3%
<b>44</b>	92,5	88,8	85,8	91,2	88,7	88,7	95-100	20 25,3%
							100-105	32 40,5%
							105-110	17 21,5%
<b>45</b>	92,5	89	87,2	88,7	89,9	86,6	95-100	17 32,1%
							100-105	14 26,4%
							105-110	12 22,6%

Die Tabelle 35 vergleicht die beim Scan der Leisten und Füße ermittelten Großzehenwinkel, wobei bei den Fußwerten eine Gruppierung in 5°-Schritten durchgeführt wurde und hier die 3 am häufigsten vertretenen Gruppen und gleichzeitig mind. 75% aller Füße aufgeführt sind. Die Messwerte liegen für die

Schuhgrößen 41 bis 45 abzüglich der jeweiligen Zugaben vor. Aufgeführt sind die Leistenmodelle Biomex, Cross, Kairo, Natur, Sport und Köln. Verzichtet wurde aufgrund der Ähnlichkeit zu den Modellen Köln und Natur auf die Leistenmodelle Stiefel Köln Stiefel Natur, Natur 10w und Natur 9w.

Dunkelgrau hinterlegt ist jeweils die am häufigsten vertretene Gruppe, hellgrau jeweils die 2. und 3.häufigste Gruppe. Je Schuhgröße sind bei den Fußmaßen 3 Gruppen notwendig, um mindestens 75% aller Füße zu beinhalten.

Es fällt auf, dass der Großzehenwinkel innerhalb eines Leistenmodells zwischen den einzelnen Schuhgrößen nur minimal variiert, es zwischen den Modellen aber unterschiedliche Winkel gibt. Der maximale Unterschied beträgt 6,7 Grad zwischen den Modellen Biomex und Kairo in Schuhgröße 44.

Im Vergleich der Leisten zeigt sich durchgehend, dass der Großzehenwinkel aller Leistenmodelle kleiner ist als die kleinste Gruppierung der drei am häufigsten gemessenen Großzehenwinkelgruppierungen der Fußvermessung.

## 4 Diskussion der Ergebnisse

### 4.1 Arbeitsplatzsituation, Beschwerden und Fußfehlstellungen

Bei der Auswahl der Probanden wurde darauf geachtet, dass ein breites Beschäftigungsfeld der Teilnehmer gewährleistet war. So galt hinsichtlich der Auswahl des Betriebes als einziges Einschlusskriterium, dass Sicherheitsschuhe am Arbeitsplatz vorgeschrieben waren. Die Auswahl großer Industriebetriebe hatte neben der Verfügbarkeit einer größeren Anzahl von Arbeitern den Vorteil, dass in Betrieben wie der Daimler-Chrysler- AG und dem Volkswagenkonzern viele Arbeitergruppen vertreten sind (siehe 3.1.1).

Die Untersuchung zeigte, dass in den Betrieben vielschichtige Tätigkeiten ausgeführt wurden, der Großteil der Untersuchten war im Presswerk (22,4%) und bei einem Autozuliefererbetrieb (17,6%) beschäftigt.

Interessant scheint hierbei die Tatsache zu sein, dass trotz eines breiten Betätigungsfeldes ein recht einheitliches Bewegungsbild bei der Arbeit zu bestehen scheint. So gaben 79,3% der Arbeiter an, regelmäßig bei ihrer Arbeit Drehbewegungen im Oberkörper ausführen zu müssen. 66,9% der Untersuchten mussten häufig in gebeugter Haltung arbeiten und 50,3% sehen sich täglich mehrmals mit mehr oder weniger belastenden Hebearbeiten konfrontiert (siehe 3.1.3).

Ein Blick auf die Ergebnisse der Schmerzanalyse verstärken den Eindruck, dass trotz arbeitsmedizinischer Kontrollen in den Betrieben und ständiger Verbesserungen der Arbeitsbedingungen, eine weitere Optimierung der Arbeitsplatzsituation hin zu einem ergonomisch besser gestalteten Arbeitsplatz erforderlich ist. Mit 45,3% gab fast jeder zweite Arbeiter an, regelmäßig Schmerzen zu haben, davon am häufigsten mit 64,4% im Bereich der Lendenwirbelsäule. Die Mehrzahl der Arbeiter gab die Intensität der Schmerzen mit 3 bis 4 auf einer Skala von 1 (geringer Schmerz) bis 6 (sehr starker Schmerz) an. Die Bewegungen, die in den meisten Fällen als Auslöser der Schmerzen angegeben wurden, decken sich weitgehend mit den Bewegungen, die als Hauptbewegungsformen genannt wurden. Bei 53,8% der mit Schmerzen

konfrontierten Arbeiter bestehen die Schmerzen schon länger als 5 Jahre (siehe 3.1.11).

Wie bereits in der Literatur beschrieben, wird der Einfluß des Körpergewichts auf die Entstehung von Spreiz-, Senk-, und Hohlfuß diskutiert.<sup>15</sup> Hierbei spielt zwar auch die Beschaffenheit des Bandapparates eine entscheidende Rolle, doch lohnt sich sicherlich auch ein Blick auf die Gewichtsverteilung der hier untersuchten Arbeiter. Es wurden deren BMI-Werte hinzugezogen und eine klassifizierte Einteilung entsprechend der Adipositas-Klassifikation der WHO durchgeführt (siehe 3.1.4). Das Überwiegen übergewichtiger Probanden beeindruckt und bestätigt die Mitteilungen einer Zunahme übergewichtiger Personen in unserer Gesellschaft. Lediglich 37,9% der Untersuchten liegen mit ihrem BMI in einem Bereich zwischen 20 und 25 kg/m<sup>2</sup> und sind somit laut WHO normalgewichtig. Der Rest ist übergewichtig, wobei 40,8% einen BMI zwischen 25 und 30 kg/m<sup>2</sup> aufweisen und 16,6% mit einem BMI zwischen 30 und 35 kg/m<sup>2</sup> erstgradig adipös sind. Immerhin 2,7% der Arbeiter sind zweitgradig adipös (BMI 35-40 kg/m<sup>2</sup>).

Diese Ergebnisse überraschen hinsichtlich der Sportaktivität der Arbeiter. Immerhin 55,5% treiben Sport, wobei 22,3% bis zu 2 Stunden und 22% sogar mehr als 6 Stunden pro Woche sich sportlich betätigen (siehe 3.1.13).

Begünstigt wird das Entstehen von Fußfehlstellungen auch durch langes Stehen ohne Fußbewegungen, was in Verbindung mit unpassendem Schuhwerk zu einer Atrophie der am Aufbau des Fußlängs- und Quergewölbes beteiligten Muskulatur führt.<sup>16</sup> Auch hier scheinen die Arbeiter bei Blick auf die Ergebnisse für Fußfehlstellung prädestiniert zu sein. 33% aller Arbeiter gaben an eine rein stehende Tätigkeit auszuüben, hiervon 69% bis zu 9 Stunden täglich. 57% der Untersuchten berichteten, dass sie neben Tätigkeiten im Stehen auch Gehphasen bei ihrer Arbeit hätten. Zwar gaben 73% der Arbeiter an, während ihres Arbeitstages auch zeitweise zu sitzen, in den meisten Fällen jedoch nur bis zu maximal 3 Stunden, in vielen Fällen aber wesentlich kürzer, meist nur in den Pausen (siehe 3.1.3).



Insgesamt gesehen, handelt es sich bei der Arbeit in den Industriebetrieben, in denen die Studie durchgeführt wurde, überwiegend um eine Arbeit im Stehen.

Der jedoch wichtigste Auslöser für Fußfehlstellungen ist wohl, wie häufig in der Literatur erwähnt, die Passform der Schuhe. Ist diese nicht optimal der Anatomie des Fußes angepasst, kann dies zu teilweise irreversiblen Fußfehlstellungen führen. Die Notwendigkeit, die Passform von Arbeitsschuhen zu verbessern kommt schon darin zum Ausdruck, dass rund 77% aller Arbeiter über Beschwerden mit ihren Schuhen klagen (siehe 3.1.10). Häufig sind Hautreaktionen in Form von Schwielen und Clavi erste Anzeichen für ein zu enges Schuhwerk. Wie die Begutachtung der Arbeiterfüße zeigt, scheint gerade im Vorfußbereich ein Defizit der Passform zu bestehen. Hierbei gibt es kaum einen Seitenunterschied. Bei nahezu jedem zweiten Arbeiter lässt sich eine vermehrte Schwielenbildung medial an der Großzehe, bei jedem dritten Arbeiter lateral an der Kleinzehe beobachten, was Folge einer verstärkten Reibung sein dürfte. Diese wiederum spricht für ein zu enges Schuhwerk gerade im Vorfußbereich, was an einer bislang unzureichenden Meßmethode im Leistenbau liegt. Wie die Messergebnisse in dieser Arbeit zeigen, ist der für die Weite im Vorfußbereich entscheidende Parameter der Ballenwinkel, der indirekt die Lage der prominentesten Vorfußpunkte medial und lateral bestimmt. Ist dieser Winkel zu flach, liegt die weiteste Stelle des Fußes zu weit vorne und der Fuß wird an seiner tatsächlich weitesten Stelle eingeengt, was zu entsprechenden Hautveränderungen führt.

Wie verbreitet sind tatsächlich Fußfehlstellungen bei den hier untersuchten Industriearbeitern?

Mit 57% am häufigsten vertreten, war ein Spreizfuß. Oft wird ein Spreizfuß erst dann symptomatisch, wenn sich schmerzhafte Schwielen und eine Metatarsalgie unter den Metatarsalköpfchen ausbilden. Eine derartige Schwielenbildung ließ sich bei rund 11% der Arbeiter feststellen, welche Probleme bzw. Beschwerden mit ihren Schuhen beklagt hatten (siehe 3.1.10).

Ein Knick-Senkfuß konnte bei 50%, ein Hohlfuß bei 24% der Untersuchten festgestellt werden. Zwar sind in der Literatur keine vergleichbaren Studien bei

Industriearbeitern vorhanden, jedoch beschreibt Grifka das Auftreten von Fußfehlstellungen einerseits bei aktiven Läufern und Hallensportlern und andererseits bei Altenheimbewohnern.<sup>22</sup> Auch hier zeigt sich eine hohe Inzidenz von Spreizfüßen (Sportler: 78,4% unterschiedlicher Ausprägung; männliche Altenheimbewohner: 77,5%). Senkfüße gab es bei 22,8% und Hohlfüße bei 12% der untersuchten männlichen Altenheimbewohner. Demnach liegen die Ergebnisse dieser Studie hinsichtlich einer Hohl- und Spreizfußbildung im Bereich anderer Untersuchungsgruppen. Knick-Senkfüße scheinen bei Industriearbeitern vermehrt zu bestehen, wobei Grifka nur die Senkfuß und nicht die Knickfußkomponente beschreibt.

Die Fußbegutachtung zeigte, dass die meisten Arbeiter im Vorfußbereich zu enges Schuhwerk tragen. Folge einer zu engen oder zu spitzen Zehenkappe ist der Hallux valgus, die häufigste und bedeutsamste Zehenveränderung. Beschrieben ist er häufig bei Frauen, wobei hier die heutige Schuhmode mit meist sehr spitz zulaufenden Zehenkappen verantwortlich gemacht wird. Hinzu kommt meist, dass Frauen hohe Absätze tragen, welche dazu führen, dass die Füße im Schuh bei jedem Schritt im Fußbett nach vorne gleiten, die Zehen im Schuh vorne anstoßen und zusammengepresst werden.<sup>3,7-9</sup> Daraus resultieren oft zusätzlich zu einem Hallux valgus Hühneraugen auf der Zehenrückseite und zwischen den Zehen.<sup>15</sup> Arbeiten über das Auftreten von Hallux valgus speziell bei Industriearbeiter existieren nicht, doch müsste unter Annahme oben genannten Pathomechanismus der Anteil an Hallux valgus erhöht sein. Diese Annahme wurde in dieser Studie tatsächlich bestätigt: 26,3% aller untersuchten Arbeiter wiesen einen Hallux valgus mit einer Großzehende deviation von mindestens 10 Grad auf (siehe 3.1.14.5). Der Vergleich des Großzehenwinkels am Leistenmodell und der tatsächlich am Fuß gemessenen Werte zeigte auch deutlich, dass der Großzehenwinkel am Leisten in aller Regel zu flach war, woraus eine zu spitze Zehenkappe resultiert.

Auf die Darstellung der Kleinzechenabweichung nach medial wurde aufgrund einer erschwerten manuellen Vermessung verzichtet. Hühneraugen auf der Zehenrückseite bestanden an der 2. bis 4. Zehe in ähnlicher Häufigkeit bei 5 bis 9% der Arbeiter, die 5. Zehe waren seltener betroffen.

Als weitere Fußfehlstellung ist die Hammerzehe zu nennen. Diese entsteht ebenfalls aufgrund unpassenden Schuhwerks. Zu kurze Schuhe führen zu einer Stauchung der Zehe, welche zu einer Überstreckung der Zehengrundgelenke und einer Beugung der Mittel- und Endgelenke führt.<sup>15,11</sup> Betroffen ist meist die 2. und 3., seltener auch die 4. und 5. Zehe. Diese hier gefundene Lokalisation deckt sich in etwa mit Mitteilungen in der Literatur. 5,6% der Untersuchten wiesen sowohl am linken als auch am rechten Fuß Hammerzehen auf, wobei die Zehe 2-5 nahezu gleich häufig betroffen waren (siehe 3.1.14.6).

#### 4.2 Ballenbreite , Fersenbreite, Ballenwinkel und Ballenlänge

Die Passform eines Schuhs hängt von vielen Parametern ab, weshalb es nicht einfach ist bei seriell hergestellten Schuhen stets die individuell optimale Passform zu erreichen. Ein Blick auf die Größenvariation von Ballenbreite, Fersenbreite, Ballenwinkel und Ballenlänge, zeigt, dass diese Werte innerhalb einer Schuhgröße einer relativ großen Streuung unterliegen. Zwar verhalten sich diese Werte mit Ausnahme des Ballenwinkels proportional zur Schuhgröße, doch sind mindestens 3 Weitenmaße je Schuhgröße erforderlich, um mindestens 75 % aller Arbeiter einen in der Weite optimal passenden Schuh anbieten zu können. 75% der Füße einer Schuhgröße weichen bei der Ballenbreite um mehr als 10 mm und bei der Fersenbreite um mehr als 6 mm auseinander. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Versorgung mit einem einzigen Schuhtyp je Schuhgröße sowohl im Vorfuß- als auch im Rückfußbereich nicht ausreichend ist. Die Ergebnisse decken sich mit denen einer in Bonn durchgeführten Studie an 46 Frauenfüßen, welche zeigte, dass keine Proportionalität zwischen Vorfußweite und Länge des Fußes besteht.<sup>17</sup> Frühere Messungen eines Arbeitsschuhherstellers ergaben, dass die Einführung eines Mehrweitensystems im Sicherheitsschuhbau sinnvoll wäre. Das sogenannte Mondopoint- Mehrweitensystem sieht 5 Weiten je Schuhgröße vor, von extra schmal bis extra breit plus. Dieses System sollte ursprünglich von

sämtlichen Sicherheitsschuhfirmen als Standardsystem eingeführt werden. Aufgrund erhöhter Lager- und Vorhaltekosten wurde dieses Vorhaben jedoch nicht durchgehend umgesetzt. Die Hersteller bieten nur wenige Modelle nach diesem System an. Hinzu kommt, dass nicht nur die Weite eines Schuhs für die Passform entscheidend ist, vielmehr gewinnt mit den hier erhobenen Ergebnissen der Ballenwinkel eine entscheidende Rolle. Selbst wenn die Weite des Schuhs mit der des Fußes übereinstimmen würde, liegt sie schlicht an der falschen Stelle, nämlich aufgrund eines zu flachen Ballenwinkels zu weit vorne im Schuh. Anatomisch gesehen beschreibt der Ballenwinkel die Lage des MTK I zum MTK V. Die Strecke zwischen diesen beiden Punkten stellt die breiteste Stelle des Vorfußes dar. Diese Tatsache zeigt die Bedeutung eines im Schuh optimal gesetzten Ballenwinkels und einer optimal liegenden Ballenlänge für die Passform.

Bei der Ballenlänge und dem Ballenwinkel scheint die Streuung auf den ersten Blick nicht so groß zu sein. Der Großteil der Untersuchten differiert bei der Ballenlänge maximal um 10 mm und bei dem Ballenwinkel um 8 Grad. Hält man sich vor Augen, dass ein um 8 Grad zu flacher Ballenwinkel im Schuh zur Folge hat, dass die weiteste Stelle des Fußes einige Millimeter nach vorne verlagert ist, wird deutlich wie entscheidend auch ein optimaler Ballenwinkel für die Passform ist.

Der Ballenwinkel und die Ballenlänge haben für den Schuhbau desweiteren in sofern eine eigene Bedeutung, dass die so genannte Flexzone eines Schuhs optimalerweise genau entlang der Metatarsophalangealgelenke verlaufen sollte. Die Flexzone stellt nämlich eine Abknickzone dar, welche den Fuß bei der Abrollbewegung unterstützt. Liegt diese Zone nicht optimal unter den Gelenken, ist auch der Abrollvorgang unphysiologisch und erschwert. Optimal für den Abrollvorgang ist daher die Festlegung der Flexzone mit Hilfe des Ballenwinkels.

### 4.3 Fußtypisierung

Die Überlegung eine Fußtypisierung anhand der erhobenen diversen Fußmaße zu machen, zielt darauf ab, jeden Fuß einem bestimmten Fußtyp zuzuordnen zu können. Durch Umsetzung dieser Fußtypen in den Leisten- bzw. Schuhbau könnte die Passform der Sicherheitsschuhe entscheidend verbessert werden. Der Käufer könnte nicht nur zwischen Modellen unterschiedlicher Weite im Vorfußbereich wie beim Mondopoint-System wählen, sondern auch der Fersenbereich, der Ballenwinkel und die Ballenlänge bzw. die Zehenlänge würden Beachtung finden.

Ursprünglich sollten in die Fußtypisierung nicht nur zweidimensionale Fußmaße wie die Fußlänge, die Ballenbreite oder die Fersenbreite einfließen, sondern aufgrund der hier eingesetzten Technik auch dreidimensionale Maße wie die Spannhöhe, der Ballenumfang, das Ristmaß etc. Es konnte jedoch mit Hilfe der Clusteranalyse kein dreidimensionales Maß ermittelt werden, welches eine eindeutige Typisierung ermöglicht hätte. Bei zukünftigen Untersuchungen wäre es dennoch erstrebenswert nach einem dreidimensionalen Maß zur Fußtypisierung zu suchen. Es wäre außerdem anzustreben, zusätzlich zu den Schuhgrößen 42, 43 und 44 bei weiteren Größen eine Fußtypisierung durchzuführen. Aufgrund der niedrigen Probandenzahlen in den darunter oder darüber liegenden Größen wurde dieser Versuch jetzt nicht unternommen. Ergänzend könnte eine Studie an Frauenfüßen durchgeführt werden.

Die in dieser Arbeit durchgeführte Fußtypisierung nach der Clusteranalyse basiert auf folgenden vier Variablen bzw. Fußmaßen: Ballenlänge, Ballenbreite, Ballenwinkel und Fersenbreite

Die Clusteranalyse ergab folgende Fußtypen:

**Fußtyp 1:** kurze Zehenlänge, breite Ballenweite, steiler Ballenwinkel

**Fußtyp 2:** lange Zehenlänge, mittlere Ballenweite, flacher Ballenwinkel

**Fußtyp 3:** mittlere Zehenlänge, schmale Ballenweite, mittlerer Ballenwinkel

Bei Betrachtung der Ergebnisse (siehe 3.3) zeigt sich, dass die Ballenlänge innerhalb der Schuhgrößen und der einzelnen Fußtypen konstant bleiben (Fußtyp 1: 74%, 2: 72%, 3: 73% der Fußlänge).

Ebenso verhält sich der Ballenwinkel. So beträgt dieser bei Fußtyp 1 20-21°, bei Fußtyp 2 16-17° und bei Fußtyp 3 18-19°.

Die Ballen- und Fersenbreite scheinen mit Zunahme der Schuhgröße relativ gesehen etwas abzunehmen.

Für den Leistenbau bedeutet dies, dass die Ballenlänge und der Ballenwinkel bei allen drei Fußtypen über die Größen prozentuell gleich bleiben und die Fersen- und Ballenbreite mit Zunahme der Größe prozentuell kleiner bzw. schmaler werden.

Prinzipiell muss bei der Umsetzung in den Leistenbau beachtet werden, auf welche Weise die Variablen bestimmt wurden (siehe 2.7) und dass die Variablen Ballenlänge, Ballenbreite und Fersenbreite zur real gemessenen Fußlänge normiert wurden (ohne Zugabe).

Um im Sicherheitsschuhbau eine optimale Passform zu gewährleisten, erscheint es erstrebenswert, in jeder Schuhgröße Leisten von allen drei Fußtypen zu verwenden.

#### 4.4 Fußtypen- Leistenvergleich

Wie bereits oben teilweise schon angesprochen, zeigt der Vergleich der vom Arbeitsschuhhersteller Elten GmbH eingesetzten Leisten mit den ermittelten Fußtypen, was die klinischen Untersuchungsergebnisse schon vermuten ließen, nämlich eine erhebliche Diskrepanz zwischen optimaler Passform und eingesetzten Leisten.

Verglichen wurden dieselben Werte, die bei der Fußtypisierung verwendet wurden. Grundsätzlich zeigt sich, dass die Ballenlänge bei den Leisten gemessen an allen drei Fußtypen zu lang und die Ballenbreite zu schmal ist. Der Ballenwinkel ist bei allen Leistenmodellen zu flach. Lediglich die Fersenbreite der Leisten entspricht weitgehend den tatsächlich gemessenen

Fersensbreiten. Damit decken sich die Ergebnisse im Wesentlichen mit denen einer in China durchgeführten Studie über Schuhpassform.<sup>23</sup>

Für die Ballenlänge bedeutet dies beispielsweise für die Kombination Biomechanik-Leisten und Fußtyp 3, dass der Großzehenballenpunkt auf Höhe des Metatarsophalangealgelenkes I und somit der breitesten Stelle des Vorfußes bis zu 6% der Fußlänge im Schuh zu weit vorne liegt (siehe 3.4). Dies entspricht bei einem 300 mm langen Fuß einer Distanz von 18 mm. Die Ballenbreite weicht im Falle eines Vergleichs des Leistenmodells Sport und dem Fußtyp 3 sogar bis zu 7% der Fußlänge auseinander, was einer Distanz von 21mm entspricht. Der Ballenwinkel ist bei dem Modell Sport im Vergleich zu Fußtyp 1 11° zu flach.

Dies bedeutet für die Passform des Schuhs, dass der Vorfußbereich deutlich zu schmal ist. Zu einer generell zu schmalen Ballenbreite kommt hinzu, dass die breiteste Stelle des Vorfußbereiches bei allen Leistenmodellen aufgrund einer falsch bemessenen Ballenlänge und eines zu flachen Ballenwinkels zu weit vorne liegt, und sich dadurch die tatsächlich breiteste Stelle des Fußes im bereits wieder verjüngenden Teil des Schuhs befindet. Außerdem liegt eine mögliche Flexzone aufgrund der in den Leisten verwendeten Ballenlänge und Ballenwinkel wie bereits oben beschrieben nicht wie gewünscht unter den Metatarsophalangealgelenken, was den Fuß in seinem natürlichen Abrollverhalten behindert.

#### 4.5 Vergleich des Großzehenwinkel zwischen Leisten- und Fußmaßen

Der Hallux valgus ist die wohl häufigste und bedeutsamste Zehenveränderung. Sein Entstehen ist eng mit der getragenen Schuhmode verbunden. Gab es im frühen Mittelalter, zu einer Zeit als festes Schuhwerk eine Seltenheit war, nur selten Zehenveränderungen in Form eines Hallux valgus, so ist er in der heutigen Zeit weit verbreitet.<sup>12</sup> Vor allem die Frauenschuhe sind im Vorfußbereich sehr schmal und oft spitz zulaufend, was die Großzehe in eine

starke Deviation nach lateral presst und zur Ausbildung eines Hallux valgus führt.<sup>22</sup>

Auch unter den hier untersuchten Industriearbeitern stellt der Hallux valgus mit einem Anteil von 26,3% eine häufig vorkommende Fußfehlstellung dar. Wie bereits die Auswertung der Fußbegutachtung gezeigt hat, muss eine erhöhte Reibung an der medialen Seite der Großzehe vorhanden sein, die die erhöhte Schwielenbildung verursacht. Betrachtet man die Großzehenwinkel der vermessenen Füße im Vergleich zu denen der einzelnen Leistenmodelle, wird deutlich, dass die erhöhte Reibung durch einen zu spitz zulaufenden Schuh zustande kommen muss. Der Großzehenwinkel aller Leistenmodelle in allen Schuhgrößen ist stets wesentlich flacher als die bei den vermessenen Füßen am häufigsten vorkommenden Winkel. Bei Betrachtung der Großzehenwinkelberechnung wird klar, dass ein 1:1-Vergleich der Großzehenwinkel nicht möglich ist, da der Ballenwinkel in die Berechnung mit einfließt. Dieser weicht bei den Füßen und Leisten bis zu 11° auseinander. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass es sich hierbei um die maximale Abweichung handelt und der Ballenwinkel bei den meisten Leistenmodellen wesentlich kleiner ist. Doch selbst, wenn man diesen Wert zu den Großzehenwinkeln der Leisten hinzurechnet, ist der Großzehenwinkel im überwiegenden Anteil der unterschiedlichen Leistenmodelle dennoch kleiner als der der vermessenen Füße. Dies bedeutet, dass die Großzehe durch den Schuh nach lateral abgedrängt wird.

Die schon genannte Tatsache, dass bei allen Leistenmodellen die Ballenlänge im Vergleich zum Fuß zu lang und der Ballenwinkel zu flach ist und die weiteste Stelle des Fußes sich somit im bereits wieder verjüngenden Teil des Schuhs befindet, verstärkt die Problematik des zu flachen Leisten-Großzehenwinkels zusätzlich.



## 5 Zusammenfassung

Arbeitsschuhe stellen die mit Abstand am häufigsten getragenen Schuhe eines Industriearbeiters dar, weshalb es gerade bei diesen Schuhen wichtig ist, dass eine optimale Passform gewährleistet ist.

Die Evaluierung der Fußmaße von Industriearbeitern in dieser Studie hat jedoch gezeigt, dass es allein mit einem einzigen Modell pro Fußweite und Schuhgröße nicht möglich ist, dem Anspruch gerecht zu werden, jedem Arbeiter optimal passende Sicherheitsschuhe anbieten zu können. Bei einer Vielzahl an Fußmaßen einer Schuhgröße variieren die Maße teils erheblich. Die Fußtypisierung zeigte, dass zwischen 3 Typen mit unterschiedlicher Ballenbreite, Ballen- bzw. Zehenlänge, Ballenwinkel und Fersenbreite unterschieden werden muss. Der Vergleich dieser Fußtypen mit den im Sicherheitsschuhbau eingesetzten Leisten zeigt die Defizite in der Passform auf. Eine zu große Ballenlänge, ein zu flacher Ballenwinkel und eine zu schmale Ballenbreite engen die Füße im Vorfußbereich ein und behindern das natürliche Abrollverhalten der Füße.

Mit einer klinischen Untersuchung der Füße konnten die Auswirkungen unpassenden Schuhwerks bestätigt werden. Schwielenbildung an der Großzehe bei knapp 50% und an der Kleinzehe bei knapp 30% aller Untersuchten und ein Hallux-valgus-Anteil von über 26% machen einen Zusammenhang mit zu engem Schuhwerk sehr wahrscheinlich.

Häufig konnten auch weitere Fußfehlstellungen wie Spreizfüße, Knick-Senkfüße und Hohlfüße nachgewiesen werden. Neben zu engem Schuhwerk zeigten sich auch andere Entstehungsmechanismen bzw. Risikofaktoren für derartige Fehlstellungen. So besteht die Arbeit in großen Industriebetrieben weitgehend aus Arbeit im Stehen, was in Kombination mit zu engem Schuhwerk die Atrophie der Fußlängs- und Quermuskulatur begünstigt. Hinzu kommt, dass weit über die Hälfte aller Arbeiter mit einem BMI von mehr als 25 kg/m<sup>2</sup> übergewichtig sind.

Um das Entstehen und das Fortschreiten von Fußbeschwerden und Fußfehlstellungen effektiv verhindern zu können, bedarf es sowohl einer

Verbesserung der Schuhpassform vor allem im Vorfußbereich, als auch einer Optimierung des Arbeitsplatzes hin zu ergonomischeren Bewegungsformen mit häufigeren Gehphasen und rüchenschonenderen Haltungsformen.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Bender G.: Efforts to prevent static foot diseases in Hungary during the last 40 years. *Magy Traumatol Orthop Helyreallito Seb.* 1991; 34(4): 287-288
2. Braun S.: Hollow foot in adults. *Rev Prat.* 1997 Jan 1; 47(1): 26-31
3. Dawson J., Thorogood M., Marks S.A., Juszcak E., Dodd C., Lavis G., Fitzpatrick R.: The prevalence of foot problems in older women: a cause for concern. *J Public Health Med.* 2002 Jun; 24(2): 77-84
4. Eibl M.: Fußmessverfahren im Visier. *Orthopädieschuhtechnik* 2003 Nov: 32-41
5. Eulyr F.: Static metatarsalgia. *Rev Prat.* 1997 Jan 1; 47(1): 37-42
6. Freeman D.B.: Corns and calluses resulting from mechanical hyperkeratosis. *Am Fam Physician.* 2002 Jun 1; 65(11): 2277-2280
7. Frey C., Thompson F., Smith J.: Update on women's footwear. *Foot Ankle Int.* 1995 Jun;16(6):328-331
8. Frey C.: Pain and deformity in women's feet ... are shoes the cause? *J Musculoskel Med* 1996; 12: 27
9. Lutter L.D.: Sexy shoes or sorry feet. *Foot Ankle Int.*, 2004 Jan;25(1): 1-2
10. Maier, Erne & Killmann Maren : Kinderfuß und Kinderschuh. Entwicklung der kindlichen Beine und Füße und ihre Anforderungen an fußgerechte Schuhe. 1. Auflage. München: Verlag Neuer Merkur (2003)
11. Mayo Clin Health Lett.: What is a hammer toe, and what causes it? *Mayo Clin Lett.* 2002 Jul; 20(7): 8
12. Mays S.A.: Paleopathological study of hallux valgus. *Am J Phys Anthropol.* 2005 Feb; 126(2): 139-149
13. Morioka M, Miura T, Kimura K.: Morphological and functional changes of feet and toes of Japanese forestry workers. *J Hum Ergol (Tokyo).* 1974 Sep;3(1):87-94
14. Pavlova LB.: Role of occupational factors in the development of static foot deformities in female industrial enterprise workers *Sov Zdracookhr.* 1982;(9):29-34

15. Rabl, Carl R.H.: Orthopädie des Fußes. 7. Aufl.-Suttgart: Enke, 1994: 46-196
16. Rössler H., Rütter W.: Orthopädie. 18. Aufl. Sept., 2000: Urban & Fischer Verlag München
17. Schmitz A., Gäbel H., Schmitt O.: Variabilität der Fußform und Schuhversorgung-eine 3-D-Studie. Orthopädische Praxis, 2001 Sept: 609-612
18. Scranton P.E. Jr.: Metatarsalgia: diagnosis and treatment. J Bone Joint Surg Am. 1980 Jul; 62(5): 723-732
19. Silfverskiöld J.P.: Common foot problems. Relieving the pain of bunions, keratoses, corns, and calluses. Postgrad Med. 1991 Apr; 89(5): 183-188
20. van der Putten E.P., Snijder C.J.: Shoe design for prevention of injuries in sport climbing. Appl Ergon. 2001 Aug; 32(4): 379-387
21. Wikler S.J.: Gross acquired foot defects in industrial workers. J Occup Med. 1966 Dec; 8(12): 629-636
22. Wirth C.J., Ferdini R., Wülkner N.: Vorfußdeformitäten. 1. Aufl., 1993: Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York: 93-137
23. Witana C.P., Feng J., Goonetilleke R.S.: Dimensional differences for evaluating the quality of footwear fit. Ergonomics. Oct 2004; 47(12): 1301-1317

## **7 Anhang**

### **7.1 Patienteninformation**

## **Information zur Arbeitsschuh-Studie**

### **Weshalb wird diese Studie durchgeführt?**

Zur Entwicklung neuer Arbeitsschuhe mit verbesserter Passform und optimalem Tragekomfort.

Hierzu werden mit einem dreidimensionalen Lasermessverfahren sämtliche Maße ihres Fußes erfasst

Zusätzlich werden ihre Füße auf eventuelle Fehlstellungen und Schwielen hin untersucht.

### **Was wird Sie bei der Untersuchung erwarten?**

Anfangs werden wir Ihnen einige Fragen zu ihrer Tätigkeit am Arbeitsplatz, Ihren aktuellen Arbeitsschuhen und eventuellen körperlichen Beschwerden stellen. Weiter werden ihr Körpergewicht und ihre Größe gemessen. Die dabei erhobenen Daten werden anonym ausgewertet.

Während der Untersuchung müssen sie ihre Schuhe und Socken ausziehen, damit in einer kurzen Inspektion ihres Fußes gegebenenfalls Fußfehlstellungen beurteilt werden können.

Schließlich werden ihre Füße einzeln mittels eines Scanners abgetastet und ihre Fußmaße erfasst.

Im Ganzen wird die Untersuchung ca.10-15 Minuten in Anspruch nehmen.

Wir danken Ihnen für Ihre Mitarbeit.

7.2 Case report form, CRF**Arbeitsschuh-Studie**Datum der Messung:Ort:Probanden-Nr.: \_ \_ \_ \_Tätigkeit: \_\_\_\_\_Wie lange wird diese Tätigkeit schon ausgeübt? \_\_\_\_\_

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> Stehen ___h/Tag | <input type="checkbox"/> Drehbewegungen          | <input type="checkbox"/> Überkopfarbeiten |
| <input type="checkbox"/> Gehen ___h/Tag  | <input type="checkbox"/> gebeugte Arbeitshaltung | <input type="checkbox"/> Arbeiten im      |
| Knien                                    |  |   |
| <input type="checkbox"/> Sitzen ___h/Tag | <input type="checkbox"/> Hebearbeiten            |   |

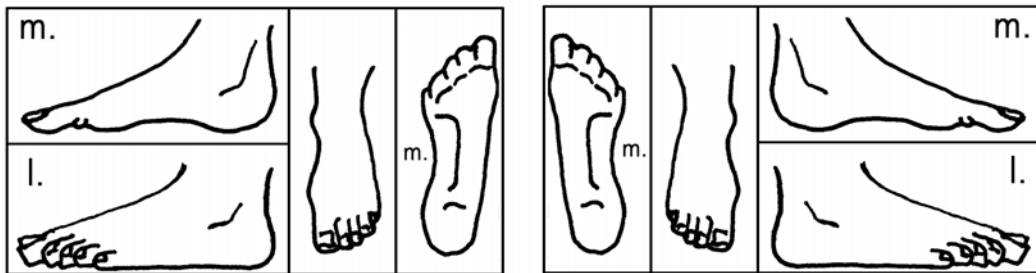
Sonstiges \_\_\_\_\_Geschlecht:  männlich  weiblichGröße [cm]: \_ \_ \_Gewicht [kg]: \_ \_ , \_BMI [kg/m<sup>2</sup>]: \_ \_ , \_Alter: \_ \_Nationalität: \_\_\_\_\_Aktueller Schuh (Marke): \_\_\_\_\_

□ Einlage: \_\_\_\_\_

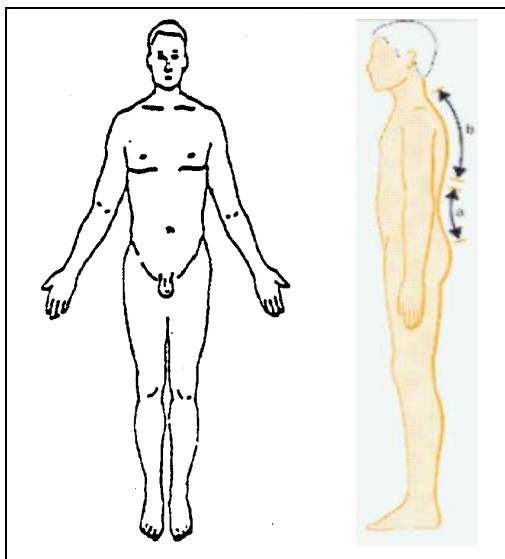
Gibt es Probleme mit diesem Modell (Druckstellen, Schwielen, Clavi, etc.)? Seit wann?

*Linker Fuss*

*Rechter Fuss*



Gelenk -/Rückenschmerzen:



1. Hauptschmerz:

2.

3.

Beinachse: □ rectus □ varus □ valgus \_\_\_\_\_ [mm]

Fußspitze:

re. li.

□ □ griechisch (II. Zehe am längsten)

- ägyptisch (I. Zehe am längsten)
- quadratisch (I. und II. Zehe sind gleich lang)

re. li.

- Knick-Senkfuß
  
- Plattfuß
  
- Hohlfuß
  
- Spreizfuß
  
- Hallux valgus re / li  Exostose  Drehung
  
- Hammerzehe : \_\_\_\_\_
  
- Digitus quintus superductus / subductus
  
- Varizen : \_\_\_\_\_

Sonstige Auffälligkeiten : \_\_\_\_\_

Treiben Sie Sport, wenn ja welchen ?

\_\_\_\_\_

Wie viele Stunden/Woche? \_\_\_\_\_



7.3 Sicherheitseinteilung bei Arbeitsschuhen (übernommen von dem Arbeitsschuhhersteller Elten GmbH)

**Kategorien des Sicherheitsschuhs EN 345-1 ( Zehenkappenbelastung 200 Joule)**

- SB** Sicherheitsschuh, der die Mindestanforderung ( z.B. Anforderung an Laufsohle, Form und Höhe von Schuhen) erfüllt
- S1** Sicherheitsschuh wie SB  
+ Antistatik  
+ Energieaufnahmevermögen im Fersenbereich  
+ geschlossener Fersenbereich
- S2** Sicherheitsschuh wie S1  
+ Wasserdurchtritt  
+ Wasseraufnahme
- S3** Sicherheitsschuhe wie S2  
+ Durchtrittssicherheit  
+ Profilierte Laufsohle

7.4 Größenverteilung – deskriptive Auswertung: Kreuztabellen weiterer Fußmaße

**Tabelle 36: Größenverteilung „Kleinzehenwinkel“ im Bezug zur getragenen Schuhgröße, n=455**

		Schuhgröße (Scan) + Zugabe					
		40	41	42	43	44	45
Kleinzehenwinkel (in Grad)	55-60		1 1,3%				
	60-65	1 2,4%	4 5,0%	6 5,4%	3 3,3%	4 5,1%	4 7,5%
	65-70	8 19,0%	24 30,0%	41 36,9%	34 37,8%	36 45,6%	27 50,9%
	70-75	26 61,9%	39 48,8%	49 44,1%	40 44,4%	30 38,0%	19 35,8%
	75-80	4 9,5%	11 13,8%	15 13,5%	8 8,9%	8 10,1%	2 3,8%
	80-85	3 7,1%	1 1,3%		5 5,6%	1 1,3%	1 1,9%
Gesamt		42 100,0%	80 100,0%	111 100,0%	90 100,0%	79 100,0%	53 100,0%

**Tabelle 37: Größenverteilung „Kleinzehenballen“ im Bezug zur getragenen Schuhgröße, n=455**

		Schuhgröße (Scan) + Zugabe					
		40	41	42	43	44	45
Kleinzehenballen (mm)	135-140						
	140-145						
	145-150	11 26,4%	1 1,3%				
	150-155	18 42,9%	20 25,0%	10 9,0%			
	155-160	10 23,8%	38 47,5%	27 24,3%	7 7,8%	2 2,5%	
	160-165	3 7,1%	20 25,0%	48 43,2%	29 32,2%	9 11,4%	1 1,9%
	165-170			24 21,6%	39 43,3%	30 38,0%	14 26,4%
	170-175		1 1,3%	2 1,8%	14 15,6%	31 39,2%	17 32,1%
	175-180				1 1,1%	6 7,6%	17 32,1%
	180-185					1 1,3%	4 7,5%
	Gesamt		42 100,0%	80 100,0%	111 100,0%	90 100,0%	79 100,0%

**Tabelle 38: Größenverteilung „Großzehenwinkel“ im Bezug zur getragenen Schuhgröße, n=451**

		Schuhgröße (Scan) + Zugabe					
		40	41	42	43	44	45
Großzehenwinkel (in Grad)	80-85	1 2,4%					
	85-90		2 2,5%	2 1,8%	2 2,2%	1 1,3%	2 3,8%
	90-95	3 7,1%	7 8,8%	11 9,9%	10 11,1%	3 3,8%	5 9,4%
	95-100	11 26,2%	16 20,0%	35 31,5%	23 25,6%	20 25,3%	17 32,1%
	100-105	10 23,8%	38 47,5%	40 36,0%	29 32,2%	32 40,5%	14 26,4%
	105-110	14 33,3%	10 12,5%	15 13,5%	21 23,3%	17 21,5%	12 22,6%
	110-115	3 7,1%	5 6,3%	6 5,4%	4 4,4%	6 7,6%	3 5,7%
	115-120		2 2,5%	2 1,8%	1 1,1%		
Gesamt		42 100,0%	80 100,0%	111 100,0%	90 100,0%	75 100,0%	53 100,0%

**Tabelle 39: Größenverteilung „Gewölbeanfang“ im Bezug zur getragenen Schuhgröße, n=444**

		Schuhgröße (Scan) + Zugabe					
		40	41	42	43	44	45
Gewölbeanfang (mm)	60-65	2 4,8%					
	65-70	10 23,8%	10 12,7%	6 5,5%	3 3,4%		2 3,9%
	70-75	12 28,6%	33 41,8%	30 27,3%	17 19,5%	9 12,0%	4 7,8%
	75-80	16 38,1%	27 34,2%	48 43,6%	37 42,5%	19 25,3%	14 27,5%
	80-85	2 4,8%	8 10,1%	20 18,2%	22 25,3%	31 41,3%	18 35,3%
	85-90		1 1,3%	5 4,5%	6 6,9%	13 17,3%	7 13,7%
	90-95			1 0,9%	2 2,3%	2 2,7%	6 11,8%
	95-100					1 1,3%	
Gesamt		42 100,0%	79 100,0%	110 100,0%	87 100,0%	75 100,0%	51 100,0%

**Tabelle 40: Größenverteilung „Gewölbeende“ im Bezug zur getragenen Schuhgröße, n=444**

		Schuhgröße (Scan) + Zugabe					
		40	41	42	43	44	45
Gewölbeende (mm)	150-155	3 7,1%	3 3,8%				
	155-160	13 31,0%	7 8,9%	2 1,8%	1 1,1%		
	160-165	21 50,0%	28 35,4%	8 7,3%	4 4,6%	3 4,0%	1 2,0%
	165-170	5 11,9%	30 38,0%	41 37,3%	16 18,4%	7 9,3%	1 2,0%
	170-175		11 13,9%	46 41,8%	39 44,8%	15 20,0%	3 5,9%
	175-180			13 11,8%	23 26,4%	31 41,3%	8 15,7%
	180-185				3 3,4%	18 24,0%	23 45,1%
	185-190				1 1,1%	1 1,3%	14 27,5%
Gesamt		42 100,0%	79 100,0%	110 100,0%	87 100,0%	75 100,0%	51 100,0%

**Tabelle 41: Größenverteilung „Ballenumfang“ im Bezug zur getragenen Schuhgröße, n=448**

		Schuhgröße (Scan) + Zugabe					
		40	41	42	43	44	45
Ballenumfang (mm)	220-230	2 4,8%	2 2,5%	1 0,9%			
	230-240	12 28,6%	10 12,7%	5 4,5%	1 1,1%		
	240-250	12 28,6%	23 29,1%	21 19,1%	15 16,9%	6 7,8%	2 3,9%
	250-260	8 19,0%	33 41,8%	48 43,6%	27 30,3%	18 23,4%	11 21,6%
	260-270	7 16,7%	11 13,9%	26 23,6%	34 38,2%	37 48,1%	22 43,1%
	270-280	1 2,4%		8 7,3%	12 13,5%	13 16,9%	14 27,5%
	280-290					3 3,9%	1 2,0%
	290-300			1 0,9%			1 2,0%
Gesamt		42 100,0%	79 100,0%	110 100,0%	89 100,0%	77 100,0%	51 100,0%

**Tabelle 42: Größenverteilung „Ristmaß“ im Bezug zur getragenen Schuhgröße, n=455**

		Schuhgröße (Scan) + Zugabe					
		40	41	42	43	44	45
Ristmaß (mm)	220-230	1 2,4%	1 1,3%				
	230-240	8 19,0%	4 5,0%	2 1,8%	1 1,1%		
	240-250	13 31,0%	18 22,5%	11 9,9%	7 7,8%		
	250-260	12 26,6%	28 35,0%	42 37,8%	24 26,7%	1 1,3%	1 1,9%
	260-270	3 7,1%	20 25,0%	43 38,7%	32 35,6%	15 19,0%	5 9,4%
	270-280	3 7,1%	8 10,0%	9 8,1%	20 22,2%	25 31,6%	13 24,5%
	280-290	2 4,8%	1 1,3%	3 2,7%	4 4,4%	21 26,6%	25 47,2%
	290-300			1 0,9%	2 2,2%	14 17,7%	8 15,1%
	300-310					3 3,8%	1 1,9%
Gesamt		42 100,0%	80 100,0%	111 100,0%	90 100,0%	79 100,0%	53 100,0%



**Tabelle 43: Größenverteilung „Taillemaß“ im Bezug zur getragenen Schuhgröße, n=455**

		Schuhgröße (Scan) + Zugabe					
		40	41	42	43	44	45
Taillemaß (mm)	220-230	1 2,4%	1 1,3%				
	230-240	8 19,0%	6 7,5%	2 1,8%	2 2,2%		
	240-250	10 23,8%	17 21,3%	13 11,7%	5 5,6%	5 6,3%	1 1,9%
	250-260	14 33,3%	26 32,5%	48 43,2%	27 30,0%	14 17,7%	9 17,0%
	260-270	4 9,5%	24 30,0%	35 31,5%	30 33,3%	27 34,2%	18 34,0%
	270-280	4 9,5%	5 6,3%	10 9,0%	21 23,3%	22 27,8%	20 37,7%
	280-290	1 2,4%	1 1,3%	2 1,8%	4 4,4%	9 11,4%	5 9,4%
	290-300			1 0,9%	1 1,1%	1 1,3%	
	300-310					1 1,3%	
	Gesamt		42 100,0%	80 100,0%	111 100,0%	90 100,0%	79 100,0%

**Tabelle 44: Größenverteilung „Fersenmaß“ im Bezug zur Schuhgröße, n=437**

		Schuhgröße (Scan) + Zugabe					
		40	41	42	43	44	45
Fersenmaß (mm)	305-315	1 2,4%		1 0,9%			
	315-325	6 14,6%	2 2,6%	1 0,9%			
	325-335	13 31,7%	17 22,4%	8 7,4%	2 2,4%	1 1,3%	
	335-345	13 31,7%	26 34,2%	21 19,4%	10 11,8%	2 2,6%	1 2,0%
	345-355	5 12,2%	21 27,6%	46 42,6%	29 34,1%	12 15,6%	5 10,0%
	355-365	2 4,9%	8 10,5%	20 18,5%	23 27,1%	26 33,8%	7 14,0%
	365-375	1 2,4%	2 2,6%	6 5,6%	16 18,8%	20 26,0%	20 40,0%
	375-385			4 3,7%	2 2,4%	9 11,7%	10 20,0%
	385-395			1 0,9%	2 2,4%	7 9,1%	5 10,0%
	395-405				1 1,2%		2 4,0%
	Gesamt		41 100,0%	76 100,0%	108 100,0%	85 100,0%	77 100,0%

**Tabelle 45: Größenverteilung „Gewölbewinkel“ im Bezug zur Schuhgröße, n=431**

		Schuhgröße (Scan) + Zugabe					
		40	41	42	43	44	45
Gewölbewinkel (in Grad)	30-35	2 5,1%	3 3,8%	13 12,1%	6 6,7%	8 11,3%	6 12,8%
	35-40	3 7,7%	15 19,2%	18 16,8%	17 19,1%	11 15,5%	4 8,5%
	40-45	13 33,3%	21 26,9%	22 20,6%	21 23,6%	23 32,4%	11 23,4%
	45-50	15 38,5%	25 32,1%	37 34,6%	23 25,8%	16 22,5%	10 21,3%
	20-55	5 12,8%	11 14,1%	14 13,1%	13 14,6%	11 15,5%	16 34,0%
	55-60	1 2,6%	3 3,8%	3 2,8%	7 7,9%	1 1,4%	
	60-65				2 2,2%	1 1,4%	
Gesamt	39 100,0%	78 100,0%	107 100,0%	89 100,0%	71 100,0%	47 100,0%	

## 8 Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. T. Horstmann, in dessen Abteilung ich die vorliegende Arbeit ausführen durfte, möchte ich für die Überlassung des Themas, seine Betreuung und die Durchsicht der Arbeit meinen herzlichsten Dank aussprechen.

Besonders danke ich Herrn Dr. rer. soc. S. Grau, der mir als Leiter der Abteilung Biomechanik als Betreuer stets mit wertvollen Ratschlägen und großem Engagement zur Seite stand.

Mein Dank gilt auch Frau Dipl. Sportwiss. M. Mauch für ihre Einführung in die 3D-Scanmeßtechnik und die statistische Auswertung.

Weiter möchte ich mich bei allen Helfern bedanken, die mich in den Betrieben tatkräftig unterstützt haben.

## 9 Lebenslauf

06.08. 1980	geboren in Göppingen Eltern: Dr. Franz Hofgärtner, Internist Anna Hofgärtner, geb. Weiß, Religionspädagogin Schwester Barbara Hofgärtner
1987-1991	Grund- und Hauptschule Heiningen
1991-2000	Freihof-Gymnasium in Göppingen Abschluss mit Abitur
September 2000 bis April 2001	freiwilliges soziales Jahr an der Klinik am Eichert Göppingen (Pflegebereich)
April 2001	Immatrikulation an der Universität Tübingen, Studiengang Humanmedizin
März 2003	Ärztliche Vorprüfung
Februar 2006 bis Januar 2007	Praktisches Jahr am Klinikum Esslingen
18.05.2007	erfolgreicher Abschluss des Medizinstudiums mit dem zweiten Abschnitt der ärztlichen Prüfung nach neuer Approbationsordnung