

# Magisterarbeit

Hallux valgus: Ein prä- und postoperativer Vergleich  
zwischen radiologischen Aufnahmen und  
Fußdruckverteilungsmessungen

Verfasserin

**Bakk. Eva Maria Klein**

angestrebter akademischer Grad

**Magistra der Naturwissenschaft, Mag. rer. nat.**

Wien, im April 2009

Studienkennzahl laut Studienblatt:	A 066 826
Studienrichtung laut Studienblatt:	Sportwissenschaften
Betreuer:	Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Arnold Baca

Für meinen im Vorjahr verstorbenen Großvater in Liebe und Anerkennung

Eva Maria

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Magisterarbeit selbstständig unter Verwendung der angegebenen Quellen verfasst und mich keiner sonstigen Mittel bedient habe.

Bakk. Eva Maria Klein

Wien, April 2009

## **Danksagung**

Diese Studie entstand in Zusammenarbeit mit dem Sportwissenschaftler Herrn Dr. Andreas Kranzl vom Orthopädischen Spital in Wien Speising. Ihn bin ich zu großem Dank verpflichtet. Die Aufbereitung des Datenmaterials sowie die Interpretation erforderten Zeit und Energie, die mir von seiner Seite entgegengebracht wurde. Mein weiterer Dank gilt Herrn Dr. Csepan, der die Einzeichnung der radiologischen Winkel vornahm.

Bei meinem Betreuer, Herrn Professor Dr. Arnold Baca möchte ich mich ebenso für die Unterstützung, Ratschläge und Motivation bedanken.

Mein besonderer Dank gilt meinen Freunden, meiner Familie sowie engen Verwandten für die unermüdliche Unterstützung und Motivation während meines Studiums und in der Abschlussphase.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1</b>	<b>Fragestellungen.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>DER MENSCHLICHE FUß ALS GANZES .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Fußskelett .....</b>	<b>12</b>
2.1.1	Aufbau des Vorfußes .....	13
<b>2.2</b>	<b>Gelenke und Bänder des Fußes .....</b>	<b>15</b>
2.2.1	Fersenbein-Würfelbein-Gelenk (Articulatio calcaneocuboidea).....	18
2.2.2	Fußwurzel-Mittelfuß-Gelenke (Articulationes tarsometatarsales) .....	19
2.2.3	Zehengelenke (Articulationes metatarsophalangae und Articulationes interphalangeae pedis .....	20
<b>2.3</b>	<b>Fußmuskulatur .....</b>	<b>21</b>
2.3.1	Kurze Fußmuskeln.....	22
<b>3</b>	<b>MORPHOLOGIE UND FUNKTION DES FUBES .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1</b>	<b>Fußwölbung.....</b>	<b>24</b>
<b>3.2</b>	<b>Dreipunktabstützung .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3</b>	<b>Belastung des Fußes beim Stehen und Gehen.....</b>	<b>28</b>
3.3.1	Gangzyklus .....	30
3.3.1.1	Belastung von Bändern und Gelenken während des Gehens .	31
3.3.2	Gangbild und Druckverteilung bei älteren Menschen.....	32
<b>4</b>	<b>DEFORMITÄTEN AN DEN FÜßEN.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Hallux valgus.....</b>	<b>36</b>

4.1.1	Therapie .....	40
4.1.2	Ostetomie.....	40
4.1.2.1	Chevron-Osteotomie.....	42
4.1.3	Bestimmung des Hallux valgus Winkels.....	43
4.1.4	Druckverteilungsanalyse bei Hallux valgus Deformität.....	45
<b>5</b>	<b>METHODEN .....</b>	<b>46</b>
<b>5.1</b>	<b>Patientenfragebogen.....</b>	<b>46</b>
<b>5.2</b>	<b>Radiologische Untersuchung .....</b>	<b>48</b>
5.2.1	Radiologische Winkelbestimmung.....	48
<b>5.3</b>	<b>Druckverteilungsanalyse.....</b>	<b>50</b>
5.3.1	Funktionelle Winkelbestimmung .....	52
5.3.2	Problematik der Ganggeschwindigkeit.....	53
<b>5.4</b>	<b>Datenaufbereitung .....</b>	<b>53</b>
<b>5.5</b>	<b>Statistische Auswertung der Daten.....</b>	<b>54</b>
5.5.1	Deskriptivstatistik.....	54
5.5.2	Interferenzstatistik .....	54
5.5.2.1	Überprüfung der Normalverteilung.....	56
<b>6</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>57</b>
<b>6.1</b>	<b>Deskriptivstatistik.....</b>	<b>57</b>
6.1.1	Fragebogen .....	59
6.1.2	Röntgenuntersuchung.....	67
6.1.3	Druckverteilungsmessung .....	68
6.1.3.1	Geschwindigkeitsbedingte Winkelveränderungen .....	69

<b>6.2</b>	<b>Inferenzstatistik .....</b>	<b>72</b>
6.2.1	Präoperative Korrelation zwischen dem radiologischen und dynamischen Hallux valgus Winkel .....	73
6.2.2	Postoperative Korrelation zwischen dem radiologischen und dynamischen Hallux valgus Winkel .....	74
6.2.3	Veränderungsspezifische Korrelation zwischen dem radiologischen und dynamischen Hallux valgus Winkel .....	76
6.2.4	Korrelation im Bezug auf die Verbesserung zwischen dem radiologischen und dynamischen Hallux valgus Winkel sowie den Variablen des Fragebogens.....	78
6.2.4.1	Korrelation aller Veränderungsvariablen .....	83
6.2.5	Multiple Regression.....	84
<b>7</b>	<b>INTERPRETATION.....</b>	<b>85</b>
<b>8</b>	<b>DISKUSSION UND RESÜMEE .....</b>	<b>90</b>
<b>9</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>93</b>
<b>10</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>96</b>
<b>11</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>97</b>
<b>12</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>98</b>
12.1	Patientenfragebogen (auf Original) .....	98
12.2	Zusammenfassung .....	99
12.3	Summary .....	100
12.4	Lebenslauf .....	101

# 1 Einleitung

„Der Hallux valgus gilt allgemein als Nebenprodukt unserer Zivilisation“ (Baumgartner, 1986, S. 43). Daher entstand das Interesse am Hallux valgus zu Beginn des letzten Jahrhunderts. Der Zusammenhang mit dem Tragen nicht passender Schuhe, vor allem während des Wachstums, lässt sich nicht übersehen. In der Literatur lässt sich nachlesen, dass durch Verdrängung des traditionellen Schuhwerks der Japaner - die Geta - durch das westliche Schuhwerk der Hallux valgus - früher unbekannt in Japan - im gleichen Maß zunahm wie die Verwendung von westlichen Schuhen (Wanivenhaus, 1989).

Ein weiterer für den Hallux valgus begünstigender Faktor ist auch der Bewegungsmangel als Folge unserer sitzenden und fahrenden Lebensgewohnheiten, die sich auch durch einige Minuten Fußgymnastik nicht aus der Welt schaffen lassen. Regelmäßige sportliche Tätigkeit – mit passendem Schuhwerk – kommt dieser Forderung schon eher entgegen (Baumgartner, 1986).

Der Fußform kommt auch gewisse Bedeutung zu. In Anlehnung an die Darstellung des Fußes bei griechischen und ägyptischen Skulpturen unterscheidet man zwischen ägyptischen Füßen (Überlänge der ersten Zehe), griechischen Füßen (Überlänge der zweiten Zehe) und quadratischen Füßen (gleiche Länge der ersten und zweiten Zehe). Demnach kommt es bei der ägyptischen Fußform, die in 65 % unserer Population vorkommt, zu gehäuftem Auftreten vom Hallux valgus (Wanivenhaus, 1989).

Bereits seit über 150 Jahren wird der Hallux valgus operativ behandelt und definiert sich als Abweichung der Großzehe im Grundgelenk. Ein Hallux valgus kann, braucht jedoch nicht, mit Schmerzen einhergehen. Bis heute sind bereits über 150 verschiedene Operationsverfahren zur Therapie des Hallux valgus bekannt. Da sich Hallux valgus Deformitäten erheblich voneinander unterscheiden, ist eine differenzierte Anwendung einzelner Operationen besonders wichtig. Auch die Patienten unterscheiden sich in Hinblick auf ihre körperliche Aktivität, ihre Erwartungen von der Operation und ihr bevorzugtes Schuhwerk. Das Lebensalter, die beruflichen Anforderungen und vieles Andere spielen eine wichtige Rolle. Auch Voroperationen an den Zehen sind von Bedeutung. Daher können nicht alle Hallux valgus Deformitäten mit nur einem Operationsverfahren befriedigend korrigiert werden (Imhoff, 2000; Imhäuser, 1986).



Die normale Druckverteilung an der Sohle ist von grundlegender Bedeutung für das Befinden. Eine übermäßige Belastung von einzelnen Arealen ist Ursache von Beschwerden und Ausdruck pathologischen Geschehens. Ein Großteil der Fußbeschwerden hat seinen Ursprung auf dem Weg der Kraftübertragung durch die Fußsohle (Debrunner & Jacob, 1998). Ergebnisse von tausenden Hallux valgus Operationen sind bekannt. Der Erfolg jedes Knochen- und Weichteileingriffs im Vorfußbereich hängt auch von der Berücksichtigung der Biomechanik in diesem Gebiet ab. Das Ziel einer operativen Behandlung ist nicht mit einem kosmetisch guten Resultat, das man im Röntgenbild zeigen kann, erschöpft. „Wichtig ist die Erzielung eines ausdauernden Standes, einer kraftvollen Abrollung, einer guten Gehleistung, einer befriedigenden Leistungsfähigkeit des Fußes bei der Möglichkeit der problemfreien Schuhversorgung.“ (Imhäuser, 1986, S. 20)

Intention dieser Studie ist es, den bisher noch nicht untersuchten Zusammenhang zwischen Hallux valgus Winkel und Veränderungen in der Fußdruckanalyse herzustellen. Bereits vor über 20 Jahren beschäftigen sich Heidinger, Kurz, Selbach und Diebschlag (1987) mit Einsatzmöglichkeiten von Druckverteilungsmessgeräten zur Fußdatenerfassung. Anhand ihrer Untersuchung definierten sie nachfolgende prägnante Messgrößen des menschlichen Fußes: Fußlängsachse, Fußlänge, Fußbreite, Fersenbreite, Ballenbreite, Ballenlinie, Ballenwinkel und zuletzt den Großzehenwinkel, welcher ihrer Ansicht nach zur Diagnose des Hallux valgus herangezogen werden kann.

Die folgende Untersuchung beruht auf dem Gedanken, dass eine röntgenologische Aufzeichnung des Vorfußes primär statisch im Stehen durchgeführt wird, die Problematik jedoch beim Gehen auftritt. Unter anderem bei einer Vorfußdeformität ist dies von besonderer Bedeutung, da die Großzehe beim statischen Stehen nicht, beim Gehen in der Abstoßphase jedoch am meisten belastet wird. „Das Abstoßen des Fußes am Ende der Standphase erfolgt mit großer Kraft durch die aktive Plantarflexion der Zehen, insbesondere der für den Gang unverzichtbaren Großzehe“ (Graumann & Sasse, 2004). Daher soll in dieser Diplomarbeit untersucht werden, ob eine Korrelation zwischen funktionellem Hallux valgus Winkel (HV-Winkel), durch eine Druckverteilungsmessung ermittelt, und dem radiologisch gemessenen Hallux valgus Winkel besteht. Dieser Zusammenhang wird sowohl vor als auch ein Jahr nach der Operation untersucht. In weiterer Folge werden auch die postoperativen Veränderungsprozesse auf Zusammenhänge überprüft.

Zusätzlich wird ein Patientenfragebogen, welcher vor und ein Jahr nach dem medizinischen Eingriff zusammen mit einem Arzt ausgefüllt wurde, in die Auswertung miteinbezogen.

Im Weiteren erfolgt nun ein kurzer Überblick über die Kapitel. Um die Funktion des sehr kompliziert aufgebauten Fußes zu verstehen, ist die Kenntnis seines inneren Aufbaues notwendig. Diesbezügliche Informationen sind im ersten Teil der Arbeit angeführt. Es folgt ein Einblick in die Morphologie und Funktion des Fußes. Im vierten Kapitel wird allgemein auf Deformitäten an den Füßen aufmerksam gemacht und speziell der Hallux valgus erklärt. Im weiteren Verlauf findet man im Anschluss die Methoden, gefolgt von den Ergebnissen und der Interpretation. Den Abschluss dieser Diplomarbeit bilden die Diskussion sowie das Resümee.

## ***1.1 Fragestellungen***

Anhand der erläuterten Problemstellung wurden demnach folgende Fragestellungen für diese Diplomarbeit definiert:

- Gibt es einen präoperativen Zusammenhang zwischen dem radiologischen und dynamischen (funktionellen) Hallux valgus Winkel?
- Gibt es einen postoperativen Zusammenhang zwischen dem radiologischen und dynamischen (funktionellen) Hallux valgus Winkel?
- Gibt es einen Zusammenhang im Veränderungsprozess (vorher/nachher) zwischen dem radiologischen und dynamischen (funktionellen) Hallux valgus Winkel?
- Gibt es Zusammenhänge bezüglich der Verbesserung zwischen dem radiologischen und dynamischen (funktionellen) Hallux valgus Winkel sowie den einzelnen Variablen des Fragebogens?

## 2 Der menschliche Fuß als Ganzes

Die Fußarchitektur hat bereits seit mehr als 100 Jahren Anlass zu zahlreichen Spekulationen gegeben. Im Zuge der Evolution hat der menschliche Fuß die Greiffunktion zugunsten der Stützfunktion aufgegeben. Diese Entwicklung des Fußes kommt in seiner Gewölbekonstruktion zum Ausdruck. Aufgrund dieser Spezialisierung bezeichnet man den Fuß neben dem Gehirn als hervorstechendes Merkmal des menschlichen Organismus. Bei keinem anderen Lebewesen sind Greifen und Stützen so speziell auf Hand und Fuß aufgeteilt wie beim Menschen. Demnach gehen zum Beispiel die Umwendbewegungen der Hand vom Unterarm und dem Ellbogengelenk aus, beim Fuß sind Pro- (Innenrotation des Fußes) und Supination (Außenrotation des Fußes) im Sprunggelenk lokalisiert. Der Unterschenkel, welcher von der Bewegung des Fußes frei ist, ist zur Tragsäule geworden, wobei das Schienbein (Tibia) zur Lastaufnahme und -übertragung dient. Die gänzliche Übertragung der Last des gesamten Körpers auf den Fuß erfolgt jedoch über das Sprungbein. Ein weiterer Unterschied zwischen der Greiffunktion der Hand und der Stützfunktion des Fußes ist die in einer Ebene mit den übrigen Zehen angeordnete Großzehe (Hallux), welche im Gegensatz zum Daumen, nicht opponiert werden kann. Der Mensch ist ein „Sohlgänger“. Demnach ist der Fuß gegenüber dem Unterschenkel rechtwinklig abgelenkt. Im Groben lässt sich die Fußsohle vom Fußrücken unterscheiden, welche durch den medialen (zur Körpermitte) und lateralen (von der Körpermitte weg) Fußrand ineinander übergehen (Graumann & Sasse, 2004; Kent, 1998; Platzer, 2003). „Als Ganzheit betrachtet, ist der Fuß als eine in sich verdrehte Bogenkonstruktion anzusehen, deren eher filigrane, in erster Linie auf Druck beanspruchten Anteile, durch eine Reihe von aktiven und passiven zugfesten Einrichtungen verspannt werden.“ (Putz & Müller-Gerbl, 1991, S. 2)

Die Füße des Menschen tragen beim Stehen und Gehen die gesamte Last des Körpers. Schon kleine Entwicklungsstörungen, angeboren oder erworben, können wegen der komplizierten Struktur des Fußes erhebliche Funktionsminderungen und geringere Belastungsfähigkeit zur Folge haben. Dies kann durch die Interaktion zwischen Fuß, Schuhwerk und Boden durchaus verstärkt werden. Um die Erkrankungen des Fußes zu verstehen, müssen Funktion sowie die funktionelle Anatomie des Fußes eingehend dargestellt werden (Deigentesch & Bender, 1987).

## 2.1 Fußskelett

Beim Fußskelett unterscheidet man (siehe Abbildung 1):

- *Fußwurzel* (Tarsus), diese setzt sich aus den sieben Fußwurzelknochen (Ossa tarsi) zusammen. Zu diesen zählen das Sprungbein (Talus), das Fersenbein (Calcaneus), das Kahnbein (Os naviculare), das Würfelbein (Os cuboideum) und die drei Keilbeine (Ossa cuneiformia). Laut Deigentesch und Bender (1987) sind diese durch das Tragen des Körpergewichts im Vergleich zu den übrigen Knochen des Fußes konsistenter und kräftiger.
- *Mittelfuß* (Metatarsus), dieser umfasst die fünf nebeneinander angeordneten Mittelfußknochen (Ossa Metatarsi), welche als Röhrenknochen bezeichnet werden.
- *Zehen* (Digiti), diese werden von I bis V durchnummeriert. Der erste Zehenknochen (Ossa digitorum pedis) wird als Großzehe (Hallux), der fünfte Zehenknochen als Kleinzehe (Digitus minimus) gesondert benannt (Graumann et al., 2004; Platzer, 2003).

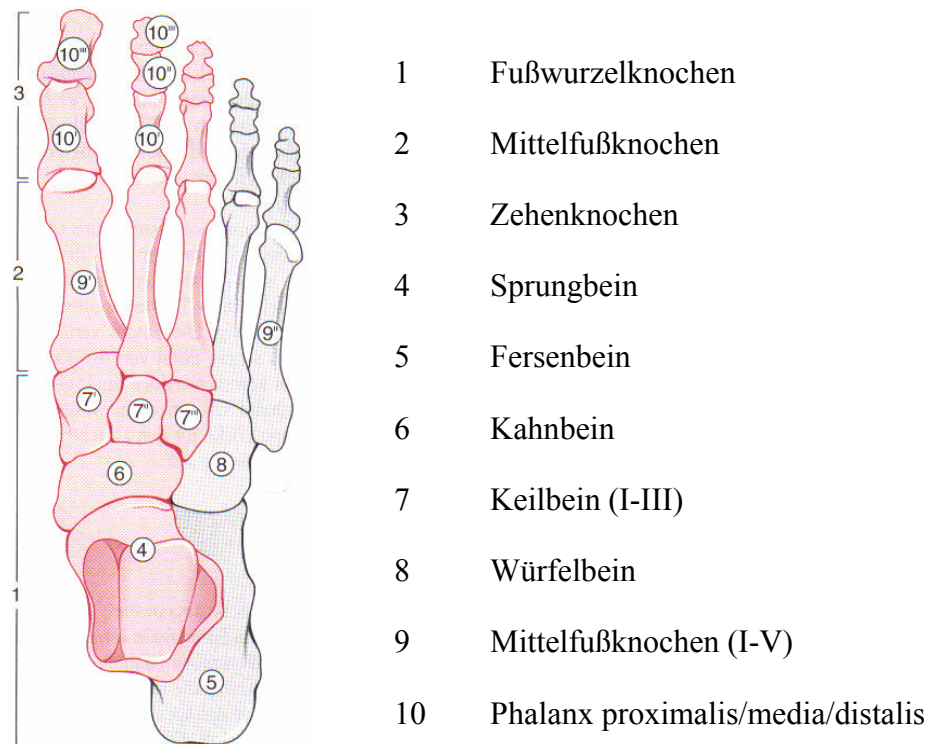


Abbildung 1: Skelett des rechten Fußes, rot: medialer Strang, grau: lateraler Strang (Graumann et al., 2004, S. 186)

### 2.1.1 Aufbau des Vorfußes

Wie bereits im vorigen Kapitel genannt wurde, umfasst der anatomische Fuß: Fußwurzelknochen, Mittelfußknochen und Zehenknochen. Funktionell-orthopädisch hat sich laut Krämer und Grifka (2001) die Einteilung in Rück-, Mittel- und Vorfuß als zweckmäßig erwiesen, siehe Abbildung 2. Dieser Aussage stimmt auch Platzer (2003) in seinem Werk zu. Die Abgrenzung der Bereiche erfolgt durch die Lisfranc- bzw. Chopart-Gelenkslinie.

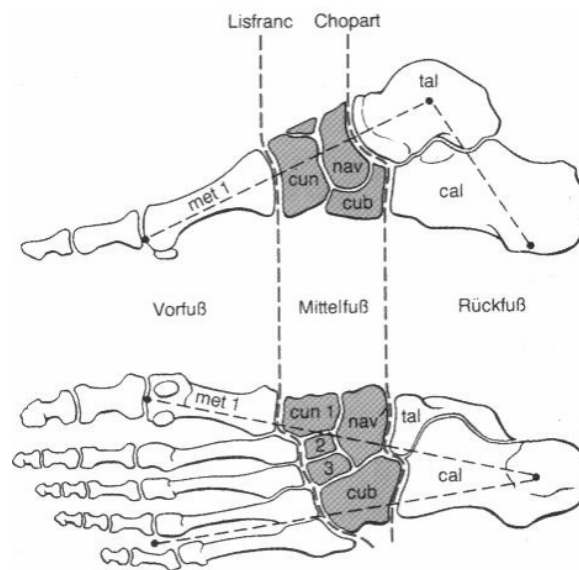


Abbildung 2: Einteilung des Fußes (Krämer et al., 2001, S. 438)

Demgegenüber stehen die Aussagen von Graumann et al. (2004). In ihrem Werk wird laut Praxis lediglich zwischen zwei Abschnitten des Fußes unterschieden, dem Rückfuß (= Tarsus) und dem Vorfuß (= Metatarsus und Digiti). Bei beiden Aussagen werden die Mittelfuß- sowie die Zehenknochen zum Vorfuß gezählt, auf welchen nun genauer eingegangen wird.

**Mittelfußknochen (*Ossa metatarsi*):** Die fünf Mittelfußknochen sind Röhrenknochen mit einer Basis (Basis), einem Schaft (Corpus) und einem Kopf (Caput). Bei einer Länge von 6 bis 8 cm sind sie fußsohlenwärts in Längsrichtung konkav gewölbt. Eine Untersuchung von Wanivenhaus (1989) zeigt, dass die Länge des Metatarsale I statistisch signifikant proportional zur Länge des Fußes ist. An den Basen befinden sich glatte Gelenksflächen für die knöcherne Verbindung mit den Keilbeinen (Metatarsale I-III) und dem Würfelbein (Metatarsale IV-V). Untereinander stehen sie ebenfalls in gelenkiger Verbindung. Die schmalen Schäfte weisen in ihrem Querschnitt eine annähernd dreieckige Form auf.

Die Köpfe der Mittelfußknochen sind konvex für die knöcherne Verbindung mit den Zehengrundgliedern. Das Os metatarsale I ist der kürzeste, breiteste und kräftigste der Metatarsalknochen. Dies steht im Zusammenhang mit der Breite der Großzehe und der Statik des Fußgewölbes. Am vorderen Ende besitzt der Caput an der Plantarfläche zwei tiefe, durch eine Leiste voneinander getrennte Einsenkungen. In diesen Furchen finden sich zwei regelmäßig vorkommende Sesambeine. Kent (1998, S. 378) definiert dies wie folgt: „Meist kleiner, in eine Sehne oder Gelenkscapsel eingelagerter Knochen, der die Zugrichtung einer Sehne verändert und/oder ihren Hebel vergrößert.“ Laut Wanivenhaus (1989) ist das mediale Sesambein länglicher und das laterale breiter ausgerichtet. Diese können laut Deigentesch und Bender (1987) in seltenen Fällen auch bei den anderen Mittelfußknochen, dann aber bevorzugt am fünften Metatarsale, vorhanden sein. Das Os metatarsale II ist der längste Mittelfußknochen. Die Ossa metatarsi II, III und IV weisen eine schlanke Konfiguration auf und sind an ihren Basen zum Fußrücken hin breiter als zur Fußsohle. Das Os metatarsale V hat eine verbreiterte Basis und trägt nach lateral einen aufgerauten Höcker (Graumann et al., 2004; Netter, 2001; Platzer, 2003).

*Zehenknochen (Ossa digitorum pedis):* Wie die Finger setzen sich die Zehen aus vierzehn Skelettelementen zusammen. Bei diesen Elementen spricht man auch von Phalangen, wobei man je nach Position innerhalb der Zehe zwischen Phalanx proximales (Zehengrundglied), Phalanx media (Zehenmittelglied) und Phalanx distales (Zehenendglied) unterscheidet. Jede Zehe besteht aus drei Phalangen, bis auf die Großzehe (Hallux). Diese ist nur aus zwei Elementen aufgebaut, da das Zehenmittelglied fehlt (siehe Abbildung 1). Verglichen mit den Phalangen bei den Fingern, sind diese bei den Zehen kürzer und plumper und sind deshalb für feine Greifbewegungen weniger geeignet. Wie auch bei den Mittelfußknochen, unterscheidet man an den Phalangen jeweils eine Basis phalangis, ein Corpus phalangis und ein Caput phalangis (Kent, 1998; Platzer, 2003). Wie in Abbildung 1 ebenfalls ersichtlich ist, haben die Zehengrundglieder schlanke Schäfte bis auf die Großzehe, hier ist der Schaft wesentlich breiter und dicker. Die Basen der Grundglieder sind schalenförmig (für die Köpfe der jeweiligen Mittelfußknochen), die Köpfe haben gerundete, rollenförmige Gelenksflächen mit erhabenen Rändern. In die Mitte senkt sich die jeweilige Mittelgliedbasis ein. Die kurzen Mittelglieder haben breitere Schäfte als die Grundglieder und haben sowohl an ihren Basen als auch an ihren Köpfen runde Gelenksflächen. Auch die Endglieder sind kurz und tragen an deren Basen rollenförmige Gelenksflächen (Netter, 2001).

## 2.2 Gelenke und Bänder des Fußes

Die Bewegungsmöglichkeiten des Fußes sind alle in einem Gelenk lokalisiert, im Gegensatz zur Hand, bei welcher die Umwendbewegung in den Unterarm verlagert wurde. Bei diesem Gelenkskomplex spricht man vom Sprunggelenk. Dieser Apparat ist für das Gehen, Laufen und Springen von wichtiger Bedeutung und gleichzeitig durch die Körperlast besonders gefährdet. Ebenfalls im Gegensatz zur Hand, in der die beiden Handwurzelgelenke hintereinander angeordnet sind, liegen die beiden Fußwurzelgelenke übereinander. Demnach werden am Fuß zwei Hauptgelenke unterschieden, man spricht vom oberen und unteren Sprunggelenk (Graumann et al., 2004). Trotz dem getrennten Gelenksspalt stellen diese beiden Gelenke eine funktionelle Einheit dar, obwohl sie nur zum Teil zu einer morphologischen Einheit zusammengefasst werden (Putz & Müller-Gerbl, 1991). Ein Gelenk besteht aus artikulierenden Flächen (Facies articulares), mindestens zwei Gelenkskörpern, einer Gelenkkapsel und einem Gelenksspalt, welcher zwischen den beiden Gelenkskörpern liegt. Die Gelenkskörper sind meistens von hyalinen Knorpeln umzogen, mit dem Knochen eng verzahnt und die Oberfläche ist glatt und glänzend. Die Gelenkkapsel kann straff oder schlaff sein und ist nahe der Knorpelschicht am Gelenkskörper befestigt (Platzer, 2003).

*Oberes Sprunggelenk (Articulatio talocruralis, Tibiotalargelenk):* Der Kopf wird von der Trochlea tali (Rolle am Sprungbein) gebildet, dieser dient als gelenkige Verbindung mit dem Unterschenkel. Die Gelenkspfanne des oberen Sprunggelenks wird aus den beiden Knöcheln des Schien- und Wadenbeins, der Malleolengabel, gebildet. Für dessen federnde Festigkeit, durch die sie sich auszeichnet, scheint die Membrana interossea (Knochenhaut zwischen Schien- und Wadenbein) von besonderer Bedeutung zu sein (Putz & Müller-Gerbl, 1991). Aufgrund dieser Konstruktion wird von einem Scharniergelenk mit einer transversal verlaufenden Gelenksachse gesprochen. In diesem sind Ad- und Abduktionsbewegungen sowie Rotationen ausgeschlossen. Möglich ist eine Plantarflexion (Fußspitze nach unten) und Dorsalextension (Fußspitze nach oben). Der Bewegungsumfang des Fußes von maximaler Dorsalflexion bis zu maximaler Plantarflexion beträgt laut Platzer (2003) bis zu 70°. Das obere Sprunggelenk wird jedoch bereits im Stand mechanisch beansprucht um die Körperlast auf den Fuß zu übertragen (Graumann et al., 2004; Platzer, 2003).

Wie alle Scharniergelenke verfügt auch das obere Sprunggelenk über Kollateralbänder. Neben der Knochenführung durch die Malleolengabel sind diese Seitenbänder für sicher geführte Bewegungen im oberen Sprunggelenk zuständig. Man unterscheidet zwischen dem größeren medialen Seitenband (Ligamentum collaterale mediale), auch Ligamentum deltoideum genannt, und dem kleineren lateralen Seitenband (Ligamentum collaterale laterale). Erst genanntes ist funktionell wesentlich bedeutsamer als das zweite. Der mediale Bandapparat ist neben einer Bremsfunktion bei der Plantarflexion auch für eine Begrenzung der Abknickung nach lateral verantwortlich (Putz et al., 1991). Beide Bänder setzen sich aus mehreren Bändern zusammen – siehe Abbildungen 4 und 5 (rot) – und strahlen von der jeweiligen Knöchelspitze fächerförmig zur Fußwurzel aus, um außer am Sprungbein, auch am Fersen- und am Kahnbein anzusetzen. Somit sind diese zusätzlich für das untere Sprunggelenk wirksam. (Graumann et al., 2004; Platzer, 2003).

*Unteres Sprunggelenk (Articulatio subtalaris und talocalcaneonavicularis, subtalares Gelenk):* Das untere Sprunggelenk besteht aus zwei voneinander getrennten Gelenken, der Articulatio subtalaris, die den hinteren Teil, und der Articulatio talocalcaneonavicularis, die den vorderen Anteil bildet. Obwohl die beiden Gelenke voneinander getrennt sind, wirken diese jedoch gemeinsam (Platzer, 2003). Die gelenkige Verbindung im unteren Sprunggelenk bilden das Sprungbein (zusammen mit dem Unterschenkelskelett) und das subtalare Fußwurzelskelett, welches sich aus dem Fersenbein, dem Kahnbein, dem Würfelbein und den drei Keilbeinen zusammensetzt. Hierbei handelt es sich um eine fest gefügte Platte mit geringfügigen Bewegungsmöglichkeiten. Die straffe Verbindung zwischen den Knochen des subtalaren Fußwurzelskeletts wird durch Zwischenknochenbänder (Ligamenta tarsi interossea), dorsale Fußwurzelbänder (Ligamenta tarsi dorsalia, siehe Abbildungen 4 und 5 [gelb]) sowie plantare Fußwurzelbänder (Ligamenta tarsi plantaria, siehe Abbildungen 4 und 5 [blau]) gesichert. Diese einzelnen Bänder werden überwiegend nach den durch sie verbundenen Knochen benannt (Graumann et al., 2004). Die Gelenksflächen für den hinteren Teil des unteren Sprunggelenks werden vom Sprung- und Fersenbein gebildet. Die Kapsel in diesem Bereich ist sehr dünn und schlaff und wird durch die Ligamenta talocalcanea medial und talocalcanea laterale (siehe Abbildungen 4 und 5 [grün]) verstärkt. Der vordere Anteil des unteren Sprunggelenks besitzt mit dem Sprung-, Fersen- und Kahnbein drei Gelenkskörper.



Diese Gelenkspfanne wird durch das „Pfannenband“ (Ligamentum calcaneonaviculare plantare, siehe Abbildungen 4 und 5 [blau]) vervollständigt, welches das Fersenbein im Bereich der Facies articularis media mit dem Kahnbein verbindet. Kapselverstärkend wirkt das straffe Ligamentum bifurcatum (Abbildung [gelb]), das Fersen-, Kahn- und Würfelbein aneinander fixiert. Seine Hauptfunktion liegt vor allem in der Begrenzung der Pronation (Putz et al., 1991). Das Ligamentum talocalcaneum interosseum (Abbildung 4 [grün]) trennt vorderen und hinteren Anteil des unteren Sprunggelenks (Platzer, 2003). Die beiden Kammern des unteren Sprunggelenks sind vollständig voneinander getrennt. Sie haben jeweils eigene Gelenkkapseln, die durch Bandzüge verstärkt sind. Trotzdem ist eine isolierte Bewegung in beiden Kammern nicht möglich, da das Sprungbein sowohl im vorderen als auch hinteren Teil des Sprunggelenks artikuliert (Graumann et al., 2004).

Die beiden Sprunggelenke sind gemeinsam ein Kardangelenke, dessen Hauptachsen allerdings nicht senkrecht zueinander angeordnet sind. Die schräge Einstellung der Achsen des oberen und unteren Sprunggelenks führen zu einer Kopplung der Bewegungsmöglichkeiten von Rück- und Vorfuß (Putz et al., 1991). „Zusammenfassend lässt sich sagen, dass im oberen Sprunggelenk eine Scharnierbewegung möglich ist, während im unteren Sprunggelenk gedreht werden kann“ (Platzer, 2003, S. 224). Die Drehbewegungen werden, wie auch bei der Hand, als Pro- (Heben des lateralen Fußrandes) und Supination (Heben des medialen Fußrandes) bezeichnet, siehe Abbildung 3. Der Gesamtumfang der Pro- und Supination zwischen den Extremstellungen beträgt laut Platzer (2003) 60°.

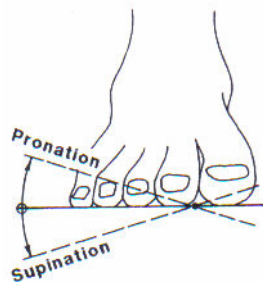


Abbildung 3: Drehbewegung im unteren Sprunggelenk (Debrunner et al., 1998, S. 9)

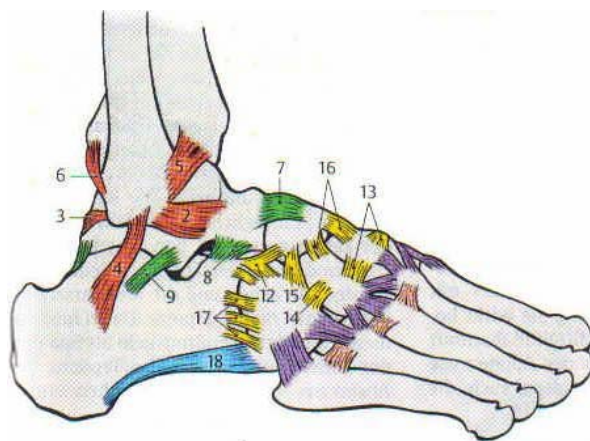


Abbildung 4: Bänder des Fußes von lateral (Platzer, 2003, S. 227)

- 2 Lig. talofibulare anterius
  - 3 Lig. talofibulare posterius
  - 4 Lig. calcaneofibulare
  - 5 Lig. tibiofibulare anterius
  - 6 Lig. tibiofibulare posterius
  - 7 Lig. talonaviculare
  - 8 Lig. talocalcaneum interosseum
  - 9 Lig. talocalcaneum laterale
  - 12 Lig. bifurcatum
  - 13 Ligg. intercuneiformia dorsalia
  - 14 Lig. cuneocuboideum dorsale
  - 15 Lig. cuboideonaviculare dorsale
  - 16 Ligg. cuneonavicularia dorsalia
  - 17 Ligg. calcaneocuboidea dorsalia
  - 18 Lig. plantare longum
- } Lig. collaterale laterale

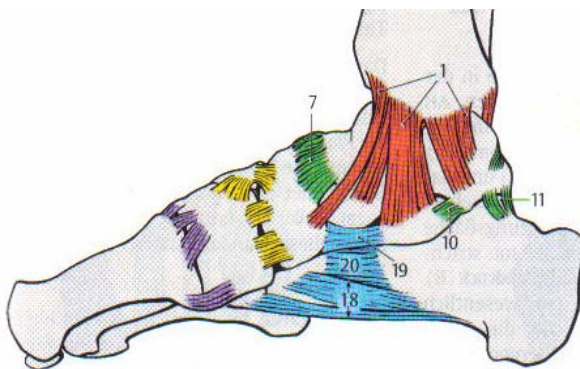


Abbildung 5: Bänder des Fußes von medial (Platzer, 2003, S. 227)

- 1 Lig. collaterale mediale
- 7 Lig. talonaviculare
- 10 Lig. talocalcaneum mediale
- 11 Lig. talocalcaneum posterius
- 18 Lig. plantare longum
- 19 Lig. calcaneonaviculare plantare
- 20 Lig. calcaneocuboideum plantare

### 2.2.1 Fersenbein-Würfelbein-Gelenk (Articulatio calcaneocuboidea)

Dieses Gelenk verbindet das Fersenbein mit dem Würfelbein und ist eine Amphiarthrose. Darunter versteht Gruyter (2004) ein straffes Wackelgelenk, das aufgrund straffer Bänder nur federnde Bewegungen zulässt. Die beteiligten Gelenksflächen (Facies articularis cuboidea des Fersenbeins und Facies articularis calcanea des Würfelbeins) sind sattelförmig. Die Gelenkskapsel wird plantar, lateral und dorsal durch zum Teil sehr kräftige Bänder verstärkt, Abbildungen 4 und 5 (Graumann et al., 2004). Da über dieses Gelenk ein Großteil des Körpergewichts auf die Außenkante des Fußes übertragen wird, verlaufen an der Fußsohle noch zwei kräftige Bänder als Stütze.

Dies sind das Ligamentum calcaneocuboideum planetare (Abbildung 5, 20) und das Ligamentum plantare longum (Abbildung 5, 18) (Netter, 2001). Der Gelenkspalt ist ein Teil der so genannten *Chopartschen Gelenkslinie* (Abbildung 2), fälschlich auch *Articulatio tarsi transversa* bezeichnet, welche sich zwischen dem Sprungbein, dem Fersenbein, dem Kahnbein und dem Würfelbein erstreckt (Platzer, 2003).

### **2.2.2 Fußwurzel-Mittelfuß-Gelenke (Articulationes tarsometatarsales)**

In diesem Gelenk bilden die Basen der medialen drei Mittelfußknochen mit den Keilbeinen und die lateralen zwei Mittelfußknochen mit dem Würfelbein eine gelenkige Verbindung (Netter, 2001). Graumann und Sasse (2004) unterscheiden drei Gelenksverbindungen, die in einer gestuften mediodistalen nach lateroproximal Linie verlaufen, welche auch *Lisfranc-Gelenkslinie* genannt wird (Abbildung 2). Die Autoren sprechen von einem:

- *Medialen Tarsometatarsalgelenk* zwischen dem Keilbein I und der Basis des Mittelfußknochens I.
- *Mittleren Tarsometatarsalgelenk* zwischen den Keilbeinen II und III mit den Basen der Mittelfußknochen II und III.
- *Lateralen Tarsometatarsalgelenk* zwischen dem Würfelbein und den Basen der Mittelfußknochen IV und V.

Diese Gelenke stellen aufgrund ihrer straffen Bänder (Abbildung 4 [rosa]) ebenfalls Amphiarthrosen dar. Die kurzen Bänder überbrücken, von den einzelnen Knochen jeweils divergierend, die rundumliegenden Gelenksspalten und bauen damit eine unvollständige inhomogene Faserplatte auf, die mit den Gelenkskapseln fest verwoben ist (Putz et al., 1991). Bei starken mechanischen Belastungen sind in den Gelenken Verschiebungen möglich. So spielen sie eine nicht unwesentliche Rolle bei der durch Pro- und Supinationsbewegung erfolgenden „Verdrehung“ des Fußes. Die größte Beweglichkeit weist das mediale Tarsometatarsalgelenk auf (Grauman et al., 2004).

### 2.2.3 Zehengelenke (*Articulationes metatarsophalangeae* und *Articulationes interphalangeae pedis*)

Diese Gelenke gliedern sich in Grund-, Mittel- und Endgelenke, wie in Abbildung 6 ersichtlich ist. Bei der zweigliedrigen Großzehe gibt es lediglich ein Grund- und Endgelenk.

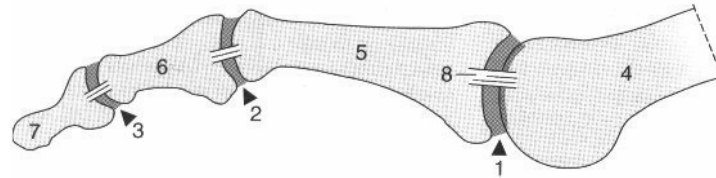


Abbildung 6: Zehengelenke (Graumann et al., 2004, S. 200)

1 Grundgelenk, 2 Mittelgelenk, 3 Endgelenk, 4 Mittelfußknochen, 5 Grundglied, 6 Mittelglied, 7 Endglied, 8 Lig. collaterale

**Grundgelenk (*Articulationes metatarsophalangeae*):** Die Gelenkspfannen werden von den Basen der Zehengrundglieder, die Gelenksköpfe von den viel größeren Köpfen der Mittelfußknochen gebildet. Diese Gelenke werden von je einer Gelenkkapsel umschlossen. Diese wird fußsohlenwärts vom Ligamentum plantare longum (Abbildung 4, 18), medial und lateral von Kollateralbändern und der Dorsalaponeurose verstärkt. Bei den Grundgelenken handelt es sich um Kugelgelenke, die in ihrer Funktion durch Kollateralbänder eingeschränkt sind. Im aufrechten Stand befinden sich die Grundgelenke in leichter Dorsalflexionsstellung (Graumann et al., 2004; Netter, 2001; Platzer, 2003). Dieses Gelenk wird durch den *Musculus flexor hallucis longus* in einem Gleichgewichtszustand gehalten (Wanivenhaus, 1989).

**Mittel- und Endgelenk (*Articulationes interphalangeae pedis*):** „In jedem dieser kleinen Gelenke artikuliert der rollenförmige Kopf des jeweiligen proximalen Phalanx als Gelenkskopf mit der keilförmigen Basis der jeweiligen distalen Phalanx als Gelenkspfanne“ (Graumann et al., 2004, S. 201). Diese Gelenke mit ihren vergleichsweise starken Kollateralbändern stellen reine Scharniergelenke dar. In den Mittelgelenken ist lediglich eine Plantarflexion, in den Endgelenken zusätzlich eine Dorsalflexion möglich. Im aufrechten Stand stehen die Zehengelenke in einer leichten Plantarflexion, sodass zusammen mit der Stellung im Grundgelenk eine laut Graumann et al. (2004S. 201) „Klauenstellung“ resultiert (Graumann et al., 2004; Netter, 2001; Platzer, 2003).

## 2.3 Fußmuskulatur

Prinzipiell unterscheidet man bei den Skelettmuskeln einen Ursprung und einen Ansatz. Der Ursprung an den Extremitäten liegt immer proximal (rumpfnah), der Ansatz distal (rumpffern). Am Ursprung des Muskels befindet sich häufig ein Muskelkopf (Caput), der in den Muskelbauch (Venter) übergeht und mit der Sehne (Tendo) endet. Die Muskelkraft ist abhängig vom physiologischen Querschnitt, der sich aus der Summe der Querschnitte aller Fasern ergibt. Wie auch an der Hand, ziehen am Fuß nur die Sehnen der langen Fußmuskeln. Die Muskelbäuche dieser Sehnen liegen am Unterschenkel. Zusätzlich zu diesen Sehnen kommen die kurzen Fußmuskeln (Platzer, 2003). Der Begriff „kurze Fußmuskeln“ gibt Aufschluss darüber, dass auch Unterschenkelmuskeln mit ihren langen Sehnen am Fuß zum Teil bis zu den Zehen verlaufen. Die Fußmuskeln erlauben eine eingeschränkte Bewegung der Zehen und unterstützen dadurch die langen Unterschenkelmuskeln (Graumann et al., 2004). Diese Muskeln wirken auf mehrere Gelenke. Deigentesch und Bender (1987) unterscheiden:

*Extensorengruppe:* Sie entspringen an der Vorderseite des Schien- (Tibia) und Wadenbeins (Fibula) sowie an der Zwischenknochenhaut der Unterschenkelknochen (Membrana interossea) und verlaufen über den Fußrücken bis zu den Mittelfußknochen und den Zehen. Diese Gruppe bewirkt eine Beugung, Dorsalflexion, im Sprunggelenk und eine Streckung der Zehen. Laut Kent (1998) ist die Kraft dieser Bewegung relativ gering, trotzdem ist sie wichtig, um beim Gehen die Zehen vom Boden abzuheben. Die wichtigsten Extensoren im Sprunggelenk sind der Musculus tibialis anterior (vordere Schienbeinmuskeln), der Musculus extensor hallucis longus (lange Großzehenstrecker) und der Musculus extensor digitorum longus (lange Zehenstrecker).

*Flexorengruppe:* Diese Muskeln entspringen an der Rückseite des Schienbeins (Tibia), des Wadenbeins (Fibula) sowie der Zwischenknochenhaut (Membrana interossea). Sie ziehen hinter dem Innenknöchel bis zu den Fußwurzelknochen, der Großzehe und den Endgliedern der Zehen und bewirken eine Streckung, Plantarflexion, im Sprunggelenk und eine Beugung der Zehen. Durch den Verlauf über den inneren Knöchel sind diese auch für die Supination (Heben des medialen Fußrandes) verantwortlich. Zu dieser Gruppe werden der Musculus tibialis posterior (hinterer Schienbeinmuskeln), der Musculus flexor hallucis longus (langer Großzehenbeuger) und der Musculus flexor digitorum longus (langer Zehenbeuger) gezählt.

Der wichtigste Plantarflexor und Supinator – alle übrigen Muskeln entfalten nur eine geringe Wirkung – und zugleich der mächtigste Muskel im Fuß ist jedoch der *Musculus triceps surae*, der Wadenmuskel.

*Peroneusgruppe*: Sie entspringen am Wadenbein (Fibula) und verlaufen über den äußeren Knöchel bis zu den Fußwurzel- und Mittelfußknochen. Durch den Verlauf ihrer Sehnen werden sie zu Plantarflexoren und Pronatoren, Heben des lateralen Fußrandes. In diese Gruppe gehören der *Musculus peroneus (fibularis) longus* (langer Wadenmuskel) und der *Musculus peroneus (fibularis) brevis* (kurzer Wadenmuskel).

### **2.3.1 Kurze Fußmuskeln**

Laut Platzer (2003) liegen die kurzen Fußmuskeln einerseits am Fußrücken (Dorsum pedis) und andererseits an der Fußsohle (Planta pedis). Gleichzeitig spricht man auch von Extensoren (Muskeln des Dorsum pedis) und den wesentlich stärkeren Flexoren (Muskeln der Planta pedis) am Fuß (Graumann et al., 2004). Sie gewinnen Bedeutung als Haltemuskeln, während die Bewegungsfunktion deutlich zurücktritt (Deigentesch et al., 1987).

*Extensoren am Fuß*: Zu den Fußrückenmuskeln zählen der *Musculus extensor hallucis brevis* und der *Musculus extensor digitorum brevis*. Sie entspringen am Calcaneus und ziehen bis zur Basis der Grundphalanx der Großzehe und der Dorsalaponeurose der Zehen II bis IV. Erst genannter Muskel dient der Dorsalflexion im Grundgelenk der Großzehe, der Zweite ist für die Dorsalflexion der zweiten bis vierten Zehe verantwortlich (Graumann et al., 2004; Platzer 2003).

*Flexoren am Fuß*: Die Muskeln der Fußsohle lassen sich in drei Muskelgruppen unterteilen. Man spricht von Muskeln des Großzehenbereiches, Muskeln des Kleinzehenbereiches und den Muskeln des mittleren Bereiches. Im Groß- und Kleinzehenbereich sind jeweils ein Abduktor und ein Flexor vorhanden, wobei die Abduktoren das Zehengrundglied spreizen und beugen, die Flexoren die Beugung im Zehengrundgelenk unterstützen (Netter, 2001). Zum Großzehenbereich zählen der *Musculus abductor hallucis*, der *Musculus flexor hallucis brevis* sowie der *Musculus adductor hallucis*.

„Diese drei beugen die Grundphalanx der Großzehe, während sie die Endphalanx strecken. Der Adduktor zieht die Großzehe medialwärts, während der Abduktor sie nach lateral abdrängt“ (Deigentesch et al., 1987, S. 10). Im Kleinzehebereich unterscheiden wir Musculus abductor digiti minimi, Musculus flexor digiti minimi brevis und Musculus opponens digiti minimi. Diese Muskeln beugen die Grundphalanx und strecken die mittlere Endphalanx. Außerdem können sie die fünfte Zehe nach lateral ziehen. Die mittlere Muskelgruppe umfasst den Musculi lumbricales, den Musculus quadratus plantae, den Musculi interossei und den Musculus flexor digitorum brevis, welche insgesamt eine beugende Wirkung auf die Grundphalangen der Zehen haben (Deigentesch et al., 1987; Platzer, 2003).

Grob zusammenfassend lässt sich sagen: Die kurzen Fußmuskeln umgeben die Fußwölbung und ermöglichen die Beweglichkeit der Zehen gegenüber den Mittelfuß- und Fußwurzelknochen. Beim geraden Stand werden die Zehen und die Mittelfußknochen an den Boden gepresst. Die kurzen Fußmuskeln funktionieren dabei als Spanner der Fußwölbung, da sie dem Absinken der Mittelfußknochen entgegenwirken (Platzer, 2003).

### **3 Morphologie und Funktion des Fußes**

Der Fuß ist ständig statischen und dynamischen Belastungen ausgesetzt, die nicht nur dem Körpergewicht, sondern in der Abstoß- und Absprungphase jedes einzelnen Schrittes sogar einem Vielfachen des Körpergewichtes entsprechen können. Vor allem der Vorfuß muss wie kein anderer Körperteil Scher- und Kompressionskräfte widerstehen. Den bedeutendsten äußeren Einfluss hat jedoch das Körpergewicht. Bei übergewichtigen Personen kommt es zu zusätzlicher Belastung (Wanivenhaus, 1989). An dieser Stelle werden kurz die wichtigsten Funktionen des Fußes aufgezählt:

- Stehen und Stützen, die statische Funktion, des Körpers auf ebenem oder unebenem Grund
- Bildung einer guten und sicheren Basis für den Körper beim Stehen und einer stabilen Plattform für Lastentragen, Gehen, Laufen und Springen
- Sensorische Erfassung der vom Boden aus wirkenden mechanischen Einwirkungen von statischen und dynamischen Kräften (z. B. Vibrationen, Stoßbewegungen), die für die Erhaltung des Gleichgewichtes wichtig sind (Debrunner et al., 1998).

#### **3.1 Fußwölbung**

Über die Beschreibung der Fußwölbung findet man in der Literatur unterschiedliche Ansätze. Diesbezüglich gibt es keine einheitlichen Angaben. Im Zuge dieser Diplomarbeit wird die Thematik wie folgt beschrieben: Der Fuß ist kräftig genug um die Last des Körpers zu tragen. Gleichzeitig besitzt er aber auch ausreichende federnde Elastizität, sodass er Stöße abfangen und dem Körper bei dynamischer Belastung eine entsprechende Sprungkraft verleihen kann. Die durch Gelenke und Bänder miteinander verbundenen Knochen, die Skelettelemente, sind so angeordnet, dass diese eine Längs- und Querwölbung bilden. Dadurch widersteht der Fuß extremen mechanischen Belastungen (Wanivenhaus, 1989). Platzer (2003, S. 226) weist in seinem Werk auf eine wichtige Thematik diesbezüglich hin: „Fälschlich wird immer wieder von einem ‚Gewölbe‘ (Längs- und Quer-) gesprochen. Dies ist sachlich falsch, da ein Gewölbe anders aufgebaut ist als eine Wölbung“.



Der Längswölbung dienen der Fersenbeinhöcker (*Tuber calcanei*) und die Köpfe der fünf Mittelfußknochen als Auflagestellen. Aus der Form der distalen Fußwurzelknochen sowie der Basen der Mittelfußknochen resultiert die Querwölbung (Netter, 2001). Das Fußskelett bildet laut Krämer et al. (2001, S. 438) eine „Tragstrahlkonstruktion“. Die Längswölbung unterteilt sich in ein mediales und ein laterales Segment. Das Sprungbein wird als Schlussstein des Fußes bezeichnet. Krämer et al. (2001) unterscheiden weiters zwischen einem hinteren und vorderen Segment, wobei erst genanntes das Sprung- und Fersenbein bildet. Das mediale Segment der Längswölbung wird vom Kahnbein, den Keilbeinen und den medialen drei Mittelfußknochen gebildet. Fersenbein, Würfelbein und die lateralen zwei Mittelfußknochen bilden das laterale Segment der Längswölbung (Netter, 2001). Graumann und Sasse (2004) sind derselben Ansicht, es wird lediglich anstatt von einem Segment von Strängen gesprochen, welche in Abbildung 1 zu sehen sind. Als Verbindungsstelle zwischen Längs- und Querwölbung nennt Wanivenhaus (1989) die *Articulatio tarsometatarsalia I*. Störungen, vor allem an dieser Schnittstelle, führen zu Veränderungen, die die Form des Fußes nachhaltig beeinflussen und schmerzhaftes Krankheitsbilder hervorrufen.

Aufgrund der Anordnung der Skelettelemente ist der innere Fußrand stärker gewölbt und elastischer als der äußere. Dieser ist auch flacher, weniger biegsam und hat bei Belastung als erster Bodenkontakt. Die Querwölbung ist lediglich im Mittel- und Vorfußbereich gut ausgeprägt, wobei eine Aufrechterhaltung die Überlagerung von Sprung- und Fersenbein erleichtert. Für die Stabilisierung der Fußwölbung sind die inserierenden Muskeln von großer Bedeutung. Demnach verspannen alle längsausgerichteten Bänder und Bandanteile der *Planta pedis* gemeinsam das Längsgewölbe. Die Verspannung der Querwölbung erfolgt in erster Linie durch die interossären Bänder und queren Züge der tiefen plantaren Bänder der Fußwurzelknochen und der Basen der Mittelfußknochen (Putz et al., 1991).

Die verbundenen Skeletteile gewährleisten Stabilität, Verformungsbeständigkeit, elastische Rückstellkraft und dynamische Reaktionsfähigkeit (Graumann et al., 2004; Netter, 2001). Wanivenhaus (1989) erwähnt in seinem Werk die Beschaffenheit von Laufgrund und Schuhwerk. Während geringe Veränderungen der Fußstatik von so genannten Naturböden (Sand/Erde/Wiese/etc.) durch deren Elastizität und Anpassungsfähigkeit kompensiert werden, ist dies bei Zivilisationsböden (Asphalt/Beton/Parkett/Teppich/etc.) nicht mehr möglich. Aus diesem Grund werden Druck- und Scherkräfte zur Gänze auf den Vorfuß übertragen.

Über die mechanischen Erfordernisse einer Wölbekonstruktion hinaus ist noch auf die dicken subkutanen Fettpolster der Fußsohle und der Fersenregion hinzuweisen, welchen vor allem die wichtige Aufgabe der Stoßübertragung zukommt (Putz et al., 1991). Debrunner und Jacob (1998) sprechen auch von einer Sohlenhaut. Diese übernimmt einen Teil der ausgezeichneten Stoßdämpfung und verteilt die Belastung von den kraftübertragenden Knochenpartien auf die Sohlenhaut. Bei barfuß laufenden Einwohnern in Afrika findet man häufig ein bis zu 2,5 cm dickes Sohlenpolster unter der medialen Längswölbung des Fußes. In diesem Bereich ist die Belastungsfähigkeit der Haut geringer als diejenige der eigentlichen Sohlenhaut. Die Sohlenhaut ist mit Sensoren versehen, welche zusammen mit den Sensoren in den Bändern und Gelenkskapseln für die Fußfunktionen wichtig sind. Die Sensibilität der Sohlenhaut spielt hierbei eine große Rolle.

### **3.2 Dreipunktstützung**

Wie auch bei der Fußwölbung findet man bei der Dreipunktstützung des Fußes unterschiedliche und widersprüchliche Ansätze in der Literatur. Die Fußwölbung ist normalerweise in der Lage, das Gewicht des Körpers zu tragen. Laut Cavanagh, Rodgers und Liboshi (1987) nimmt beim aufrechten Stehen die Ferse 60 %, der Mittelfuß 8 % und der Vorfuß 28 % des Körpergewichtes auf. Die Zehen bleiben im Stand unbelastet. Beim Standfuß wird die Last des Körpers an drei Punkten der Wölbekonstruktion gegen die Unterlage gepresst, man spricht von einer Dreipunktstützung (Graumann et al., 2004). Laut Platzer (2003) sind als knöcherne Stützpunkte der Wölbung – auf ebener Grundfläche – das Tuber calcanei als hinterer Stützpunkt, das Caput des Os metatarsale I und das Caput des Os metatarsale V als vordere Stützpunkte anzusehen. Beim vorderen Stützpunkt sind auch die Mittelfußköpfe II bis IV mitbeteiligt. Diese und ähnliche Beschreibungen findet man häufig in Lehrbüchern und wird von vielen Autoren bestätigt. Eine Vielzahl von Druckverteilungsstudien in den letzten Jahren mit unterschiedlichen Druckverteilungsmesssystemen führte zu widersprüchlichen Resultaten.

Hennig und Milani (1993) machten es sich daher zum Ziel, dieses Missverständnis anhand einer Analyse von Druckverteilungswerten unterhalb des Fußes sowohl beim beidbeinigen Stand als auch beim Gehen zu untersuchen.

Diese Untersuchung an 111 Erwachsenen hat ergeben: „*dass weder für statische noch dynamische Belastungen eine Dreipunktunterstützung des Fußes vorhanden ist*“ (Hennig und Milani, 1993, S. 279). Das Ergebnis zeigte, dass sowohl im beidbeinigen Stand als auch beim Gehen die Spitzenwerte des Druckes unterhalb des Metatarsalköpfchens III liegen. Folglich kann von einer Zweipunktunterstützung in der Ferse und im mittleren Vorfußbereich gesprochen werden. Eine Korrelationsanalyse in diesem Zusammenhang zeigte, dass die Druckverteilung im Stand eine geringere Aussagekraft für das dynamische Belastungsverhalten des Fußes hat. Die Unterstützungsfläche wird weder beim ruhigen Stand noch im Gangzyklus gleichmäßig belastet. Ferse und Großzehenballen haben immer den größeren Anteil der Kräfte aufzunehmen, während zum lateralen Fußrand hin ein deutlicher Druckabfall erfolgt (Putz et al., 1991; Debrunner et al., 1998).

Die entstehende Unterstützungsfläche ist wesentlich kleiner als ein Sohlenabdruck. Betrachtet man einen Fußabdruck, sieht man eine wesentlich größere Standfläche, die durch vorhandene Weichteile hervorgerufen wird. An dieser Stelle ist erwähnenswert, dass eine sichere Standfläche beim Stehen auf beiden Beinen ein Ausmaß von etwa 15 x 20 cm, beim Einbeinstand etwa 7 x 20 cm erreicht. Der projizierte Schwerpunkt des Körpers am Boden wandert beim ruhigen Stehen auf dieser Standfläche ständig um einen bestimmten Mittelpunkt herum (Debrunner et al., 1998). Hennig, Staats und Rosenbaum (1994) beschreiben einen Zusammenhang zwischen Körpergewicht und Fußkontaktfläche. Sie stellten fest, dass der absolute Spitzendruck, vor allem im Vorfußbereich, beim Erwachsenen höher war als beim Schulkind.

Durch die Druckübertragung vom Schienbein über das Sprungbein zum Rück- und Vorfuß besteht die Tendenz, die Wölbung einzudrücken. Dieser Tendenz wirken jedoch die passiven Komponenten, der zugfeste Bandapparat, und aktive Komponenten, die kurzen Fußmuskeln, entgegen (Graumann et al., 2004). Die Muskeln sind auch notwendig, um dynamische Kräfte beim Stehen und Gehen abzufangen, den Fuß an Unebenheiten des Bodens anzupassen und das Gleichgewicht zu erhalten (Debrunner et al., 1998).

### **3.3 Belastung des Fußes beim Stehen und Gehen**

Die komplexe Morphologie des Fußes spiegelt eine ebenso komplexe Funktion beim Stehen wie bei der Fortbewegung wider. „In seiner im Gangzyklus wechselnden Fixierung auf der Unterlage ist er häufig direkter und ungünstiger Krafteinwirkung ausgesetzt, während sich die übrigen Körperteile frei nach dem Spiel der Kräfte einstellen können.“ (Putz et al., 1991, S. 2)

Im aufrechten Stand wird das Körpergewicht über die beiden Sprunggelenke auf das Sprungbein geleitet und gemäß der Konstruktion des Fußskeletts beiderseits auf den Fersenbeinhöcker sowie auf den Vorfuß übertragen. Die Fußsohle unter Ferse und Zehenballen wirkt als Puffer und verteilt die Kräfte der belasteten Skelettpunkte auf eine Bodenkontaktfläche. Unebenheiten und Erschütterungen des Bodens werden über den spezifischen sensorischen Apparat (Druckrezeptoren, propriozeptive Sensoren, Spannungssensoren) erfasst und lösen automatisch kleine Korrekturbewegungen aus. Ist die Störung des Gleichgewichtes durch Bewegungen des Bodens zu stark (z. B. beim Rutschen der Unterlage), wird die aufrechte Körperhaltung durch Ausgleichsbewegungen oder einen Kompensationsschritt korrigiert (Debrunner et al., 1998).

Während dem entspannten Stehen wird vorwiegend der Bandapparat beansprucht. Dies bestätigen auch Henning und Milani (1993), wonach beim normalen Stand die Knochen- und Bänderstrukturen zur Aufrechterhaltung der Fußwölbung ausreichen. Die Muskulatur tritt nur beim Plattfuß, bei Gleichgewichtsstörungen und bei Bewegungsauslösungen in Aktion (Netter, 2001). Im Stand wird der Bodendruck vom Sohlenballen aufgenommen und auf die Mittelfußknochen verteilt. Diese werden beim Stehen hauptsächlich auf Druck beansprucht. Beim Aufsetzen der Ferse – zu Beginn der Standphase – kommt es jedoch umgekehrt zu einer Biegebeanspruchung (Graumann et al., 2004). Wanivenhaus (1989) erwähnt in seinem Werk, dass in der Standphase des Gehens und beim statischen Stehen die Hauptbelastung unter den mittleren Fußstrahlen 2-4 erfolgt. Dies wird auch in neueren Studien bestätigt und nochmals darauf hingewiesen, dass der erste und letzte Strahl - im aufrechten Stand - meistens weniger belastet sind (Jacob & Zollinger, 1992; Hermann, 1995; Hennig & Milani; 1993). Cavanagh et al. (1987) bestätigen ebenfalls, dass im Vorfußbereich die mittleren Metatarsalia am stärksten belastet werden.

In diesem Zusammenhang wurde aber auch genannt, dass die Belastung der Metatarsalköpfchen von der Körperhaltung abhängt. In der Normalhaltung werden vor allem die mittleren Strahlen belastet, bei Rücklage nimmt die Belastung im Metatarsale I ab und die Metatarsale III-IV werden mehr belastet und in der Vorverlagerung wird der erste Strahl zunehmend mehr belastet.

Das beschriebene Phänomen ändert sich jedoch in der Abstoßphase. Die Belastung des Vorfußes erfolgt nun vorwiegend auf dem inneren Strahl, die Hauptbelastung ist nun unter der Kuppe der Großzehe (Jacob et al., 1992; Hermann, 1995; Hennig et al., 1993). Das Druckmaximum unter der Großzehe bestätigt die wichtige Funktion des Hallux bei der Abstoßphase (Netter, 2001; Hennig et al., 1993). Dieser Ansicht sind auch Graumann et al. (2004): „Das Abstoßen des Fußes am Ende der Standphase erfolgt mit großer Kraft durch die aktive Plantarflexion der Zehen, insbesondere der für den Gang unverzichtbaren Großzehe“. Auch Jacob et al. (1992) weisen auf den „auffallend großen Anteil an Kraft, der durch die Großzehe übertragen wird“, hin. Laut Hennig und Milani (1993) sind die Druckbelastungen der äußeren Zehen sehr gering, sodass für den kräftigen Abstoß beim Gehen die Metatarsalköpfchen und der Hallux verantwortlich sind.

Bezogen auf die Ganggeschwindigkeit verändert sich das Druckverhalten an der Fußsohle neuerdings. So konnte in einer Studie von Rosenbaum, Hautmann, Gold und Claes (1994) festgestellt werden, dass sich mit Zunahme der Ganggeschwindigkeit der Druck an der Fußsohle nicht gleichmäßig verteilt. In bestimmten Regionen nimmt der Druck zu, in anderen ab. Demnach wurden 30 gesunde Proband(inn)en bei drei verschiedenen Ganggeschwindigkeiten (langsam/mittel/schnell) untersucht. Das Ergebnis zeigte signifikante Druckanstiege beim Hallux, bei den Mittelfußköpfen I-III und der Fersenregion. Im Gegensatz dazu nahm der Druck im Mittelfußkopf V signifikant ab und im Mittelfußbereich konnte eine abnehmende Tendenz des Druckes erkannt werden.

Vergleicht man weiters ein Druckverteilungsmuster beim Gehen mit dem beidbeinigen Stand, ist zu erkennen, dass unter dem Fersenbeinhöcker die Fußsohle bei der Belastung bis auf die Hälfte ihrer Dicke zusammengedrückt wird (Debrunner et al., 1998). Auch wurde festgestellt, dass die Druckwerte in der Ferse beim Gehen 2,2fach, im Bereich der Metatarsalköpfchen etwa 4,5fach höher als im Stand sind. Der Maximaldruck unterhalb des Hallux ist beim Gang 12,6mal höher als im Stand (Hennig & Milani, 1993).

In Abhängigkeit von der Belastung führt die adäquate Abpolsterung der Druckzonen zu einer unterschiedlich dicken Weichteilschicht. Diese ist an Stellen vermehrten Drucks größer (Hermann, 1995). Eine weitere wichtige Tatsache ist auch, dass der Hallux einen Bewegungsspielraum für die Sagittalflexion von ca. 20° aufweist. Woraus sich wiederum schließen lässt, dass dadurch der Querwölbung - aufgrund der aktiven Verspannungen - die Aufgabe der Ausbalancierung in der Frontalebene zukommt. Dies spielt sowohl beim Einbeinstand als auch in der Abstoßphase des Gangzyklus eine wichtige Rolle (Putz et al. 1991).

### **3.3.1 Gangzyklus**

Das Gehen auf zwei Füßen charakterisiert die menschliche Fortbewegung. Das Gangbild verändert sich im Verlauf des Lebens. Demnach unterscheidet sich der Gang des Kindes deutlich von dem des Erwachsenen, und schließlich verändert sich das Gangbild des alten Menschen nochmals. Auch Geschlecht, Konstitution und Erkrankungen des Bewegungsapparates sowie psychische Faktoren beeinflussen den Gangzyklus erheblich.

„Ein Gangzyklus beschreibt den Zeitraum zwischen zwei aufeinander folgenden Fußkontakten mit dem Boden desselben Beines. Die Dauer zwischen diesen Ereignissen repräsentiert 100 % des Gangzyklus.“ (Götz-Neumann, 2006, S. 9, S. 17). Auch Whittle (2002, S. 46) beschreibt den Gangzyklus gleich: „The gait cycle is defined as the time interval between two successive occurrences of one of the repetitive events of walking.“

Der Gangzyklus beginnt mit dem Aufsetzen der Ferse (Initial Contact) des rechten Beines und dauert solange an, bis das rechte Bein neuerlich auf dem Boden aufsetzt. Dass die Ferse eindeutig immer den ersten Fuß-Boden-Kontakt erzeugt, wurde auch in einer Studie von Blanc, Balmer, Landis und Vingerhoets (1999) eindeutig demonstriert. Das linke Bein durchläuft denselben Ablauf wie das rechte, jedoch um einen halben Zyklus versetzt (Whittle, 2002).

Grundsätzlich wird jeder Gangzyklus in eine Standphase und eine Schwungphase unterteilt. Die Standphase, oder auch Stance genannt, ist die Periode des Gangzyklus, in der der Fuß auf dem Boden ist.

Sie beginnt mit dem Fersenkontakt (Initial Contact, Heel Contact, Foot Strike oder auch Foot Contact genannt) auf dem Boden. Die Bodenkontaktzeit in dieser Phase beträgt etwa 60 % des gesamten Gangzyklus, die restlichen 40 % entfallen auf die Schwungphase. Unter der Schwungphase, oder auch Swing genannt, versteht man den Zeitraum, in dem der Fuß in der Luft ist und unter anderem das Bein vorwärts schwingt. Diese Phase beginnt mit dem Abheben des Fußes vom Boden (Toe-off), dem Initialen Schwung (Initial Swing). Die zwei genannten Phasen unterteilen sich noch in weitere Teilphasen. Man unterscheidet fünf Stand- und drei Schwungphasen (Götz-Neumann, 2006). „Haben beide Füße Bodenkontakt, handelt es sich um die doppelt unterstützte Standphase. Hat nur ein Fuß Kontakt zum Boden, bezeichnet dies die einfach unterstützte Standphase.“ (Götz-Neumann, 2006, S. 16).

Wie auch immer, die Dauer der Stand- und Schwungphase variiert mit der Ganggeschwindigkeit. Die Schwungphase wird entsprechend länger und die Standbeziehungsweise Doppelunterstützungsphase wird kürzer entsprechend der steigenden Geschwindigkeit (Whittle, 2002). Wie bereits erwähnt, ergibt sich für beide Füße zusammen zusätzlich eine Doppelunterstützungsphase. Diese wird beim Übergang zum Laufen verkürzt bis sie letztlich verschwindet. Stattdessen entsteht eine Flugphase (Debrunner et al., 1998).

### ***3.3.1.1 Belastung von Bändern und Gelenken während des Gehens***

*Belastung der Bänder:* Wie bereits erwähnt, müssen beim aufrechten Stand fast ausschließlich die Bänder die Struktur des Fußes alleine stabilisieren. Beim Gehen im Vergleich wird der Fuß muskulär aktiviert. Eine Belastungsspitze für die Bänder tritt, nachdem der Vorfußballen den Boden kontaktiert hat, etwa bei 12 % des Gangzyklus (Doppelschrittperiode), auf. Die kurzen und langen Bänder an der Fußsohle sind in der Lage, die entstehende Zug- bzw. Biegespannung ohne muskuläre Unterstützung auszuhalten. Nachdem die Ferse den Boden verlassen hat (ca. 30 % des Gangzyklus), nimmt die Aktivität der Muskulatur rasch zu. Infolgedessen wird den Bändern eine dynamisch stabilisierende Funktion zugesprochen, welche durch Mechanorezeptoren gesteuert wird (Debrunner et al., 1998).

*Belastung der Gelenke:* Die Kraft in einem Gelenk ergibt sich aus der Vektorsumme der externen Kräfte und der Muskelkraft, welche für die Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes im Gelenk aufgewendet wird. Das Sprunggelenk (oberes und unteres Sprunggelenk) wird während des Gangzyklus, bei etwa 10 % und 50 %, zwei Belastungsspitzen ausgesetzt. Das erste Maximum wird nach dem Aufsetzen der Ferse beim Bremsen der Plantarflexion durch die Muskulatur erreicht, das zweite wenn nur noch Vorfußballen und Zehen Bodenkontakt haben. Eine regulierende Kraftverteilung unter den Metatarsalköpfen während des Gehens ist durch die Beweglichkeit in den Tarsometatarsalgelenken gegeben (Debrunner et al., 1998).

### **3.3.2 Gangbild und Druckverteilung bei älteren Menschen**

Da das Durchschnittsalter der Probandengruppe in der vorliegenden Untersuchung 59 Jahre ist, wird auch kurz auf das Gangbild sowie auf Druckverteilungsmuster während des Gehens bei älteren Menschen eingegangen.

Das Gangbild älterer Menschen wird sowohl vom Alter als auch von Krankheiten wie Osteoporose und Parkinson geprägt. Bei gesunden alten Personen stellt man sich dieses als „verlangsamte Version“ des erwachsenen Gangbildes vor. Typische altersbezogene Veränderungen finden im Alter zwischen 60 und 70 Jahren statt. Eine Abnahme der Doppelschrittlänge und der Zykluszeit sowie eine Zunahme der Schrittbreite sind festzustellen. Neben den genannten Veränderungen ist sekundär auch eine Zunahme der Standbeinphase erkennbar (Kirtley, 2006). Auch die Ganggeschwindigkeit nimmt im Alter ab (Whittle, 2002). Dies wird auch von Kernozek und LaMott (1994) bestätigt. Sie untersuchten das Druckverteilungsmuster von jüngeren (18-24 Jahre) und alten (71-90 Jahre) Menschen. In diesem Zusammenhang wurde festgestellt, dass die „bevorzugte“ Ganggeschwindigkeit bei der jungen Generation signifikant höher war. Prince, Corriveau, Hébert und Winter (1997) schrieben auch, dass die Gangausführung bei Personen ab 60 Jahren allmählich langsamer wird. Stürze sind Hauptgründe für die Morbidität im Alter und beinahe bei jedem Sturz ist die Fortbewegung mit einbegriffen. Demnach ist das Stolpern für 53 % der Stürze verantwortlich.



Dynamisches Ganggleichgewicht wird durch das Zusammenspielen vom sensomotorischen (optisch, vestibulär und propriozeptiv) System, der Muskelkraft und dem neuromuskulären System hergestellt. Beim natürlichen Altern verkümmern diese Systeme und dadurch wird das Gleichgewicht während des Gehens beeinträchtigt. Bis zu einem Alter von ungefähr 70 Jahren bleibt die natürliche Ganggeschwindigkeit stabil, anschließend sinkt diese um rund 15 % pro Dekade. Die maximale Ganggeschwindigkeit sinkt hingegen viel früher und rascher ab: rund 20 % pro Periode ab 50 Jahren. Ursache für diese Geschwindigkeitsreduktion ist die verkürzte Doppelschrittlänge (Kirtely, 2006), da sich die Kadenz (Anzahl der Schritte/min.) mit dem Alter aufgrund der Aufrechterhaltung der Beziehung zur kürzeren Beinlänge nicht ändert.

Da sich die natürliche Ganggeschwindigkeit mit höherem Alter verändert, ändert sich auch die Druckverteilung am Fuß. Laut Kernozek und LaMott (1994) gibt es signifikante Unterschiede im Mittelfußbereich zwischen 18-24-Jährigen und 71-90-Jährigen. Erst genannte Gruppe weist höhere Druckwerte in dieser Region auf als die zweite Gruppe. Keine wesentlichen Unterschiede die Druckwerte betreffend konnte in der Fersenregion zwischen den zwei Gruppen aufgezeigt werden. Im Vorfußbereich konnten jedoch wieder signifikante Unterschiede nachgewiesen werden. Das Druckmaximum lag bei den alten Personen im Bereich des ersten Metatarsalkopfes, bei den Jüngeren im Großzehenbereich. Weiters wurde aufgezeigt, dass die alte Generation eine wesentlich größere Kontaktfläche, jedoch eine kürzere Kontaktzeit, aufweist. Abschließend wird auch genannt, dass die ältere Untersuchungsgruppe signifikant niedrigere Maximalkräfte aufbringt als die jüngere Untersuchungsgruppe.

## 4 Deformitäten an den Füßen

Es gibt eine Menge von Fußdeformitäten. Diese bedürfen immer einer exakten Diagnostik und adäquaten Therapie, um dauerhafte und schwere Veränderungen zu vermeiden. Bei Fußdeformitäten handelt es sich um „angeborene oder erworbene Verformungen des Fußes“ (Gruyter, 2004, S. 609). Netter (2001) unterscheidet zwischen Vorfuß-, Mittel- und Rückfußdeformitäten. Die Vorfußdeformitäten zählen zu den schmerzhaftesten und am stärksten behindernden Veränderungen. Als Symptome werden häufig Schmerzen unter Belastung, Schwellung und Überwärmung des Vorfußes genannt. Durch rheumatische Begleitdeformitäten am Rück- und Mittelfuß wird die Statik des Fußes beeinträchtigt, sodass die durch die Vorfußveränderung verursachten Schmerzen und Behinderungen noch zunehmen. Krämer et al. (2001) charakterisieren in ihrem Werk folgende Gruppen von Deformitäten am Fuß:

- *Angeborene Deformitäten:* Klumpfuß (Komponenten: Spitzfuß, Hohlfuß, Vorfußadduktion, Supinationsfuß mit Varusstellung der Ferse), Hackenfuß (Lähmung der Flexoren), Plattfuß (Längswölbung nach unten durchgebogen; Fußsohle ist konvex, der Fußrücken konkav geformt), Sichelfuß (Adduktionsstellung des Vorfußes), Hohlfuß (Längswölbung ist erhöht), Spaltfuß (erblich, keilförmige Defekte der Fußanlage; die Entwicklung der mittleren Strahlen ist unterdrückt), Polydaktylie (mehr als fünf Zehen), Syndaktylie (Zehen sind zusammengewachsen), einseitiger Riesenwuchs, anatomische Variationen
- *Erworbene Deformitäten:* Plattfuß (Einsinken der Fußlängswölbung), Spreizfuß (Einsinken der Vorfußquerwölbung)
- *Entzündliche oder degenerative Veränderungen*
- *Aseptische Nekrosen:* Morbus Köhler (Osteonekrose des Kahnbeins), Morbus Köhler II (betrifft die Köpfe der Mittelfußstrahlen II und III)
- *Knochenvorsprünge:* Kalkaneussporn (spornartige Ausziehungen an bestimmten Punkten), Haglund-Ferse/Hohe Ferse (abnorme Ausziehung der Hinteroberkante des Fersenbeins), Fersenschmerzen

- *Neurogene Störungen* (Lähmungsfolgen): Je nachdem, welche Fuß- und Unterschenkelmuskeln ausfallen, entstehen zunächst haltungsbedingte und später irreversible Fußdeformitäten.
- *Verletzungen und Verletzungsfolgen*: z. B. Fersen- und Sprungbeinbrüche
- *Tarsaltunnelsyndrom*
- *Zehendeformitäten*: Hallux valgus (Abwinkelung der Großzehe im Grundgelenk nach lateral), Hallux rigidus (Arthrose im Großzehengrundgelenk), Hammer- (Beugekontraktur im Endgelenk) und Krallenzehen (Überstreckung im Grundgelenk und Beugekontraktur im Mittel- und Endgelenk), Hühneraugen

Zur Beurteilung solcher Deformitäten sind Röntgenaufnahmen unter Belastung unerlässlich. Aber auch der Fußabdruck gibt Auskunft über Deformitäten am Fuß. Demnach soll laut Platzer (2003, S. 230) beim gesunden Fuß der „Fußabdruck fünf Zehenfelder, ein vorderes und ein hinteres Sohlenfeld mit einem Verbindungsstreifen zeigen“, siehe Abbildung 7. Krämer und Grifka (2001, S. 441) weisen ebenfalls darauf hin, dass der Sohlenabdruck des Fußes eine bildliche Darstellung der Fußautrittsfläche ergibt. Demnach ist „beim Plattfuß der Sohlenabdruck vergrößert, beim Spreizfuß vorn verbreitert, beim Hohlfuß verkleinert und beim Sichelfuß vorn nach innen verbogen.“



Abbildung 7: Fußabdrücke (Platzer, 2003, S. 231)

In vielen Fällen können Beschwerden mit medikamentöser Behandlung und orthopädischen Maßnahmen – z. B. orthopädisches Schuhwerk – gelindert werden. Mit konservativen Behandlungsmaßnahmen wird bei Vorfußdeformitäten eine Entlastung der druckbelasteten Areale angestrebt. Im Anfangsstadium werden Veränderungen am Fuß mit einfachem orthopädischem Schuhwerk und Orthesen behandelt. Hinzu kommen Übungen zur Erhaltung der Elastizität und Beweglichkeit der Zehen. Die passive Dehnung ist hier zu Lande von besonderer Bedeutung.

Auch bei fortgeschrittenen rheumatisch bedingten Fußveränderungen lassen sich mitunter ohne Operation befriedigende Behandlungsergebnisse erzielen. Nach längerem Tragen von fußgerechten, bequemen Schuhen entscheiden sich viele Patienten aus dem Wunsch heraus, modisches Schuhwerk tragen zu können, oft doch für einen operativen Eingriff (Netter, 2001). Meist ist jedoch der Operationszeitpunkt dann gegeben, wenn Probleme mit dem Schuhwerk auftreten oder Zehen einander überkreuzen. Auch therapieresistente Schmerzen und Funktionsstörungen führen zu einer Operationsempfehlung (Brinkmann, 1986).

#### 4.1 *Hallux valgus*

Der Hallux valgus (Abbildung 8) ist meist eine fortlaufende Deformität. Ist die Statik des Fußes durch eine Längs- und Querwölbungsabsenkung gestört, ändert auch die Großzehe ihre Position. Eine Valgusstellung („nach lateral konkave Stellung von Knochen und Gelenken“ Gruyter, 2004, S. 1893) der Ferse führt zu einer Längswölbungsabflachung mit Abduktionsverhaltung des Vorfußes. Dieser verbreitert sich und proniert. Dadurch kann es zur chronischen Abduktion der Großzehe kommen (Deigentesch, 1987). Der Hallux valgus zählt zu den häufigeren Schmerzsachen und Behinderungen, kommt oft beidseitig vor, ist bei Frauen vermehrt anzutreffen (Milani und Retzlaff, 1995), zeigt eine familiäre Häufung und ist oft mit einem Spreizfuß kombiniert (Netter, 2001). Darunter versteht man einen vergrößerten Winkel zwischen Metatarsale I und Metatarsale II (Wülker 1997).

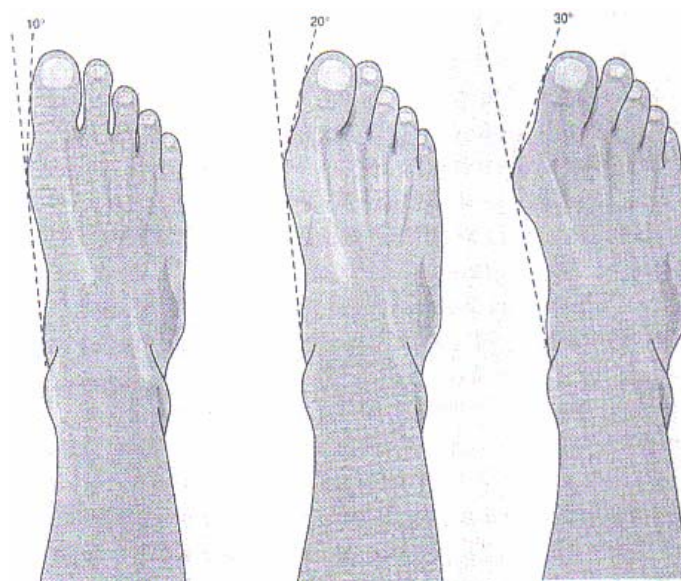


Abbildung 8: Hallux valgus (Wülker, 1997, S. 656)

Mit dem Lebensalter nimmt sowohl die Häufigkeit als auch die Schwere der Deformität zu. Die Rolle des Schuhwerks (vorn spitz zulaufend) wird häufig unterschätzt (Krämer et al., 2001). Wülker (1997) nennt ebenfalls ein unsachgemäßes Schuhwerk als Hauptursache des Hallux valgus. Spitz zulaufende Schuhe drängen die Großzehe in eine Valgusstellung. Durch zusätzliche Bewegungsarmut der Großzehe kann ein Hallux valgus entstehen. Trotz alledem kann die Frage nach der Entstehung des Hallux valgus immer noch nicht eindeutig geklärt werden (Milani und Retzlaff, 1995). Graumann et al. (2004) sowie Buchner, Schulze, Zeifang und Sabo (2005) erwähnen jedoch, dass es am Grundgelenk der Großzehe zu einer der häufigsten Fehlstellungen, der Ballengroßzehe (Hallux valgus), kommt. Dabei handelt es sich um eine:

„Permanente Lateralverlagerung der Großzehe, wobei das Sesambein unter dem Kopf des ersten Metatarsalknochens zwischen den ersten und zweiten Mittelfußknochen verlagert wird. Schon normalerweise steht die Großzehe in einer leichten Valgusstellung von bis zu 10° nach außen, beim typischen Hallux valgus ist dieser Winkel deutlich größer“ (Kent, 1998).

Laut Platzer (1986) kommt es beim Hallux valgus nicht zur Verschiebung der Sesambeine, sie bleiben in ihrer typischen Lage, im Gegenzug ändert sich die Einstellung des Os metatarsale I. Deigentesch und Bender (1987) erwähnen, dass die Fehlstellung der Großzehe im Grundgelenk sogar bis zu 90° Lateralabweichung erreichen kann, welche zu einem gestörten Abrollverhalten des Fußes führt. Graumann et al. (2004) erwähnen auch eine Subluxation des Caput ossis metatarsi I im Zusammenhang mit einer Valgusstellung der Großzehe. Dies bestätigt auch Krämer et al (2001). Er spricht von einer Abwinkelung der Großzehe im Grundgelenk nach lateral. Bei der Mehrheit der Hallux valgus Patienten beruht diese Abweichung, welche in Winkelgraden angegeben wird, auf einer Inkongruenz der Grundphalanx im Metatarsophalangealgelenk (Wülker, 1997). Daher spricht man auch vom Metatarsophalangealwinkel. Anhand des Großzehengrundgelenks lassen sich drei Arten von Hallux valgus unterscheiden:

- a) *Kongruente Gelenksflächen*: Die Gelenksflächen sind zueinander parallel ausgerichtet, die Achsen von Metatarsale I und proximaler Phalange treffen sich zentral.
- b) *Deviierende Gelenksflächen*: Die Gelenksflächen weisen zueinander einen valgus Winkel auf, die Achsen treffen sich nicht mehr zentral.

- c) *Subluxierende Gelenksflächen*: Es besteht ein Gelenksflächenvalgus, die Achsen von Mittelfußknochen I und Zehengrundglied treffen sich deutlich dezentral (Wanivenhaus, 1989).

Diese statische Deformität gilt als Ursache für den Hallux valgus, wobei dieser – wie bereits erwähnt – meist an dem Vorhandensein eines Spreizfußes gebunden ist. Darüber hinaus kann, wie bereits erwähnt wurde, zu enges modisches Schuhwerk diese Deformität verschlechtern (Deigentesch et al., 1987; Wülker 1997).

Die Stellungsänderung der Skelettelemente beim Hallux valgus (Varusstellung und Supination des Metatarsale I, Subluxation des Mittelfußköpfchens, valgus Deformität des Hallux) gehen mit Lageabweichungen der Muskeln und Sehnen am ersten Strang einher (Tillmann, Tichy & Schleicher, 1986). Wie soeben genannt, ändert sich aufgrund der abnormen Stellung der Großzehe auch die Zugrichtung der Muskulatur, welche die Großzehe nun nach innen rotiert und proniert. Platzer (1986) bestätigt in seinem Beitrag, dass bei den drei langen Fußmuskeln (M. abductor hallucis, M. flexor hallucis longus und M. extensor hallucis longus) aufgrund von 18 Hallux valgus Präparaten eine eindeutige Verlagerung nach lateral bzw. plantarwärts festgestellt wurde. Lamur, Huson, Snijders und Stoeckart (1996) stellten in ihrer Untersuchung auch fest, dass ein signifikanter Zusammenhang mit mittlerer Aussagekraft zwischen dem Hallux valgus Winkel und dem Abstand der M. flexor hallucis longus-Sehne zum Metatarsophalangen I besteht.

Naturgemäß sind auch die an den Sesambeinen bzw. der Grundphalanx der großen Zehe ansetzenden kurzen Fußmuskeln (M. extensor hallucis brevis, M. flexor hallucis brevis, M. adductor hallucis) bei einer Hallux-valgus-Fehlstellung durch eine Veränderung der Knochenstellung in ihrer Funktion betroffen. Auch Wanivenhaus (1989) erwähnt, dass es durch eine Lateralisierung des Musculus extensor hallucis longus und des Musculus flexor hallucis longus bei jeder Bewegung im Zehengrundgelenk zu einer weiteren Valgisierung der Großzehe kommt und dadurch der Hallux valgus verstärkt wird. Dadurch kommt es auch zu einer Verschiebung der Belastung unter den Mittelfußköpfchen nach lateral, was wiederum zu einer schmerzhaften Überlastungsmetatarsalgie führen kann. Darunter werden Schmerzen an der Plantarfläche der Mittelfußköpfchen II bis IV verstanden (Wülker, 1997).

Durch die genannte Lateralabweichung des Zehengrundgliedes verändert nicht nur der 1. Strahl seine Lage, sondern bedrängt auch die 2. Zehe. Diese könnte ebenfalls in Abduktionsstellung ausweichen oder sich der Veränderung widersetzen. Je nachdem, ob der Druck des 1. Strahles auf den 2. mehr plantarwärts oder mehr dorsalwärts gerichtet ist, schiebt sich die erste Zehe unter oder über die zweite Zehe (Eulert & Mau, 1986).

Durch die Abspreizung des Mittelfußknochens I mit vorstehendem Mittelfußköpfchen wird eine Exostose (höckeriger und spornartiger Knochenvorsprung [Gruyter, 2004]) vorgetäuscht, auf welchem sich ein Schleimbeutel bildet. Dieser kann sich durch zunehmenden Druck entzünden, die darüberliegende Haut schwächen und sich im Extremfall auch infizieren. Diese oft druckschmerzhafte und teilweise chronisch gereizte Weichteilverdickung ist oft Hauptsymptom, weshalb viele Patienten einen Arzt aufsuchen (Wülker, 1997).

Bezüglich der Ätiologie des Hallux valgus unterscheidet Debrunner (1986) zwischen:

- a) angeborenem Hallux valgus; dieser ist meist mit anderen Deformitäten kombiniert
- b) primär entzündlichem Hallux valgus; z. B. Arthritis des Großzehengrundgelenks, Gicht
- c) Hallux valgus durch Störung des Muskelgleichgewichts am Metatarsophalangealgelenk I infolge spastischer oder schlaffer Lähmung eines oder mehrere Muskeln
- d) Hallux valgus nach einer Fraktur des Metatarsale I oder der Großzehe oder nach Weichteilverletzungen im Bereich des Großzehengrundgelenks
- e) idiopathischem Hallux valgus; häufigste Form z. B. Vererbung, innere, äußere sowie sekundäre Faktoren

Anschließend an diese Aufzählung ist die Studie von Coughlin und Jones (2007) zu nennen. Es wurden 103 Personen bezüglich Demographie und Ätiologie ihres Hallux valgus befragt und untersucht. Als Ausschlusskriterium wurde ein Hallux valgus Winkel von kleiner als 20° angegeben. Insgesamt wurde festgestellt, dass 84 % der untersuchten Personen eine „positive“ Familienanamnese den Hallux valgus betreffend angaben und die durchschnittliche Entwicklung der Fehlstellung zwischen der dritten und fünften Lebensdekade stattfand.

Mehr als ein Viertel der Untersuchungsgruppe hatte beidseitig einen Hallux valgus. Nicht passende Schuhe wurden von 29 % der Befragten als Grund ihres Hallux valgus angegeben und lediglich 11 % hatten eine Muskel- oder Sehnenverletzung. Bei relativ vielen Personen (71 %) war ein langer erster Mittelfußknochen üblich, wobei in einer anderen Studie kein Zusammenhang zwischen der Länge des Metatarsale I und dem Hallux valgus Winkel festgestellt werden konnte (Lamur et al., 1996).

#### **4.1.1 Therapie**

Eine mögliche konservative Therapie des Hallux valgus gestaltet sich nach dem Grad der Ausbildung, wobei ein Großteil der konservativen Anwendungen die Begleiterscheinungen des Hallux valgus betreffen. Bei leichter Verformung der Großzehe kann durch korrigierende Einlagen versucht werden, eine voranschreitende Deformität zu verhindern. Mit Einlagen kann auch einer Metatarsalgie entgegengewirkt werden. Zusätzlich muss ein bequemes Schuhwerk getragen werden. Mögliche Ringpolster vermindern den Druck an der Medialseite des Ballens. Durch so genannte Hallux valgus Nachtschienen kann die Großzehe aus der Valgusposition gedrängt werden. „Allerdings sind konservative Therapien beim Hallux valgus kaum geeignet, die Fehlstellung der Großzehe zu beseitigen oder entscheidend zu verbessern“ (Wülker, 1997, S. 656). Ist vor allem die Gelenksfunktion schon eingeschränkt und bestehen erhebliche Beschwerden, kann die Therapie nur in der operativen Behandlung bestehen. (Deigentesch et al., 1987, Wülker, 1997).

#### **4.1.2 Ostetomie**

Der Hallux valgus ist eine komplexe Deformität. Die operative Indikation hängt vom Alter, vom Allgemeinzustand und von eventuellen Begleiterkrankungen und vor allem von subjektiven Beschwerdeangaben und vom Ausmaß der Fehlstellung ab. Eine Gegenindikation zu operativen Maßnahmen besteht bei arterieller Durchblutungsstörung und (temporär) bei lokalen Infektionen. Bis dato gibt es in der Literatur eine große Anzahl von verschiedenen Operationsverfahren den Hallux valgus betreffend.



Die Beantwortung der Frage, welche Operationstechnik im Einzelnen zu bevorzugen ist, wird vom Alter der Person und seiner Lebensführung und vor allem von klinischen und röntgenologischen Kriterien bestimmt (Eulert & Mau, 1986). Auch Zollinger und Imhoff (1986) lassen sich für die Wahl der operativen Technik von folgenden drei Hauptkriterien leiten:

- Zustand des Großzehengrundgelenks
- Ausmaß der Valgusdeformität und
- Ansprüche der Patienten

Wülker (1997) nennt in diesem Zusammenhang ein so genanntes Therapieschema, welches in Abbildung 9 zu sehen ist und wonach geeignete Operationstechniken ausgewählt werden können.

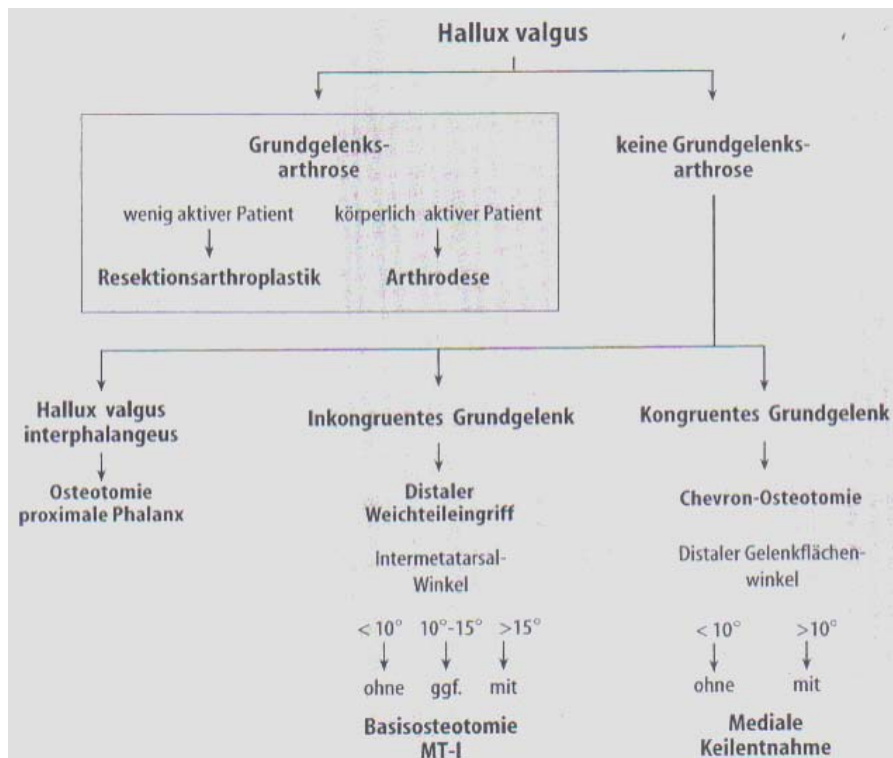


Abbildung 9: Therapieschema für geeignete Operationstechnik (Wülker, 1997, S.658)

Im Groben lassen sich die 150 verschiedenen Hallux valgus korrigierenden Eingriffe in

- gelenkerhaltende (Weichteileingriffe, Osteotomien und Arthrodesen),
- gelenkersetzende und
- gelenksdestruierende Eingriffe einteilen.

Trotz großer Vorsicht und genauen Untersuchungen vor Operationen können nicht alle Risikofaktoren ausgeschaltet werden. Im Bezug auf Hallux valgus Operationen werden neben den üblichen Faktoren folgende genannt: Entzündungen des Gelenks (Polyarthrit, Gicht, Diabetes mellitus), vaskuläre Störungen (Trophik), neurologische Störungen (Spastik, lumbale Nervenreizung), Indikationsstellung, keine Blutleere, fehlende Nachbehandlung uvm. (Imhoff, Baumgartner, Blauth, Büsch & Lamprecht, 1986). Auch Imhäuser (1986) berichtet, unabhängig von der Wahl des Operationsverfahrens, von einer Versagerquote zwischen 10 % und 50 %.

#### **4.1.2.1 Chevron-Osteotomie**

Wie bereits mehrmals erwähnt wurde, gibt es über 150 verschiedene Operationstechniken für Hallux valgus Deformitäten. Bei der vorliegenden Studie wurde die Personengruppe ausschließlich nach der Chevron-Osteotomie behandelt. In der Literatur wird diese auch oft Operation nach Austin benannt. Dabei handelt es sich um eine V-förmige gelenkerhaltende Umstellungsosteotomie des Mittelfußknochens I. Dieser medizinische Eingriff ist gekennzeichnet durch Weichteilschonung sowie Gelenks- und Längenerhalt am ersten Strahl. Gelenksfunktion und Strahllänge sind nicht nur kosmetisch für die Patienten wichtig, sondern sind ebenso für das gute postoperative Ergebnis von Bedeutung. Durch einen langen plantaren Osteotomieschenkel ist ausreichende Stabilität gegen Dislokation, auch mit einem singulären Kirschner-Draht, gewährleistet. Die Entfernung des Drahtes ist jedoch nicht erforderlich. Kleinere Knorpelschäden stellen keine Kontraindikation dar, da die Hauptbelastungszone variiert wird. Indikation zur Austin-OP ist Hallux valgus Deformität in Verbindung mit Schmerzhaftigkeit durch Hühneraugen, Schleimbeutelentzündung oder Gelenksbelastungsschmerz. Bei schwerem Hallux rigidus (= Teilversteifung des Großzehengrundgelenks), schwerer Arthrose des MTP-I und schwerer Subluxation des MTP-I mit starker Musculus extensor hallucis longus Sehnenverkürzung ist diese Operation nicht geeignet (Rehm & Fecher, 2004).

Eine Studie von Rehm und Fecher (2004) zeigte ausgesprochen gute postoperative Ergebnisse bei der Operation nach Austin. Demnach wurden 52 Patienten mit einem Durchschnittsalter von 58 Jahren nach durchschnittlich 2 ¼ Jahren nachuntersucht.

Von möglichen 100 Punkten nach AOFAS-Score nach Kitaoka erreichten die Patienten 89,3. Der Hallux valgus Winkel konnte von durchschnittlich  $29,87^\circ$  präoperativ auf  $12,71^\circ$  postoperativ korrigiert werden. Auch die Korrektur großer Hallux valgus Winkel von über  $30^\circ$  führte zu exzellenten Ergebnissen. Wülker (1997) nennt ähnliche Ergebnisse. Demnach konnte bei postoperativen Nachuntersuchungen 12 bis 35 Monate nach Chevron-Osteotomien der Hallux valgus Winkel im Schnitt von  $21,7^\circ$  auf  $13,6^\circ$  verbessert werden.

### 4.1.3 Bestimmung des Hallux valgus Winkels

Wie bereits erwähnt, wird der Hallux valgus in Winkelgraden angegeben. Man spricht in diesem Zusammenhang laut Wülker (1997) auch vom Fußinnenrandwinkel (siehe Abbildung 10), dessen Normalwerte zwischen  $0^\circ$  und  $15^\circ$  liegen. Dies bestätigt auch schon Wanivenhaus (1989). Er schreibt, dass Hallux valgus Winkelwerte bis  $15^\circ$  beim Erwachsenen als Norm angesehen werden und auch darüber liegende Werte erst dann als Erkrankung angesehen werden, wenn klinische Symptome auftreten.

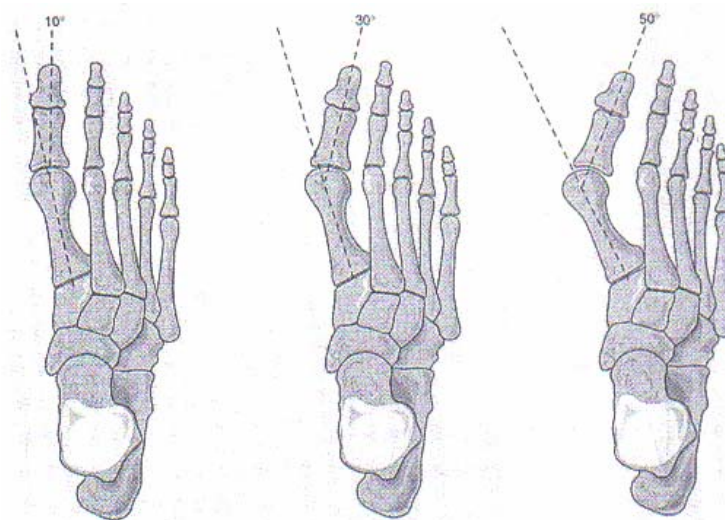
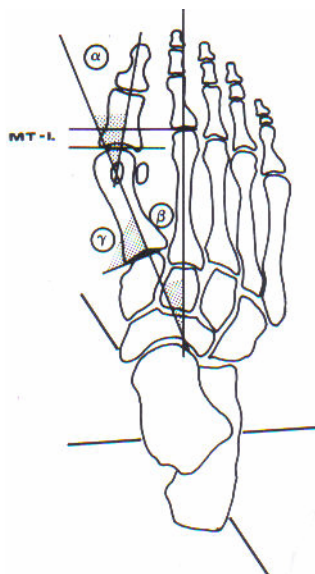


Abbildung 10: Fußinnenrandwinkel (Wülker, 1997, S. 654)

Bei der vorliegenden Untersuchung wird der Hallux valgus Winkel sowohl im Röntgenbild als auch mit Hilfe einer Druckverteilungsmessung festgestellt und miteinander in Beziehung gesetzt.

*Röntgenologischer Winkel:* Durch das Röntgenbild wird eine morphologische Veränderung des Vorfußes bestätigt. Die entscheidende Aufnahme, oder besser gesagt das Universalröntgen, bei Hallux valgus Patienten ist die „dorsoplantare Vorfußaufnahme unter Belastung“ (Wülker, 1997, S. 655). Weitere Aufnahmen, wie die seitliche oder die Tangentialaufnahme des Vorfußes unter Belastung, sind in diesem Zusammenhang von geringerer Bedeutung bzw. werden nur bei bestimmten Fragestellungen angezeigt (Eulert & Mau, 1986; Imhoff 2000). Beim röntgenologischen Hallux valgus Winkel spricht man - wie bereits erwähnt – auch vom *Metatarsophalangealwinkel*, siehe Abbildung 11. Dieser gibt die Abweichung der länglichen Achse des Mittelfußknochens I zur Großzehe bzw. der proximalen Phalange an (Lamur et al., 1996). Wülker (1997, S. 655) spricht ebenfalls vom „Winkel zwischen der Grundphalanx und dem Metatarsale I“.



$\alpha$  = Hallux valgus Winkel (HV)

$\beta$  = Intermetatarsalwinkel (IMT)

$\gamma$  = Tarsometatarsalwinkel (TMT)

MT-I. = Metatarsalindex (Längenverhältnis von erstem zu zweitem Metatarsale)

Abbildung 11: Darstellung verschiedener Fußwinkel (Wanivenhaus, 1989, S. 39)

Der Normwert der Valgusstellung im Metatarso-Phalangeal-Gelenk liegt beim Kind bei  $0^\circ$  und entwickelt sich mit zunehmendem Alter. Die Aussagekraft dieses Winkels über Korrekturresultate nach Hallux valgus Operationen ist von besonderer Bedeutung. Auch der Intermetatarsalwinkel ist besonders bei der Planung einer Operation wesentlich. Dieser ergibt sich aus der Achse des ersten und zweiten Mittelfußknochens (Wanivenhaus, 1989). In einer neueren Studie von Schneider, Csepan, Kasperek, Pinggera und Knahr (2002) wird ebenfalls bestätigt, dass die Messung der zwei genannten Winkel anhand von dorsoplantaren Röntgenbildern mittlerweile als Standard für die Planung und Evaluierung von chirurgischen Hallux valgus Behandlungen gesehen werden.

#### **4.1.4 Druckverteilungsanalyse bei Hallux valgus Deformität**

Das Abrollverhalten eines gesunden Fußes wurde schon oft in Studien untersucht. Pedographische Messungen bei Vorfuß- oder Zehendeformitäten sind jedoch spärlich.

Milani und Retzlaff (1995) beschäftigten sich mit dieser Thematik und untersuchten das Abrollverhalten bei operierten Hallux valgus Patienten. In ihrer Studie wurden Fußdruckverteilungsmessungen (während des Gehens) von 58 operierten Hallux valgus Patienten mit 111 fußgesunden Testpersonen verglichen. Alle Patienten wurden mittels der Operation nach Keller/Brandes behandelt. Die Nachuntersuchung fand zwischen 2 Monaten und 7 Jahren nach dem medizinischen Eingriff statt. Das Operationsergebnis wurde von 95 % der Patienten als gut oder sehr gut beurteilt. Die Untersuchung zeigte, dass trotz des positiven Operationsergebnisses die normale Fußmechanik nicht wieder hergestellt werden konnte. Sowohl die Lastaufnahme als auch der Spitzendruck war bei den operierten Personen unter dem Hallux deutlich niedriger als bei den fußgesunden Testpersonen. Bei diesen trugen der Hallux und der Kopf des Metatarsale III wesentlich zum Abstoß beim Gehen bei. Im Gegensatz dazu übernahmen bei den operierten Patienten die Metatarsalköpfe I und III den wesentlichen Lastanteil. Ähnlich wurde dies auch in einer älteren Studie von Hutton und Dhanendran (1981) beschrieben. Sie erwähnten postoperativ ebenfalls eine reduzierte Belastung unter dem Hallux. Zusammenfassend gilt aufgrund der beiden Studien daher, dass der Hallux trotz der Operationen „seine wichtige Funktion für den Abdruck des Fußes vom Boden verloren hat.“ (Milani et al, 1995, S. 341)“. Mitskewitch (1992, S. 7) beschreibt dies folgendermaßen: „After all kinds of operations the foot function is not normal. But different operations have different influence on the foot.“

Eine weitere Studie zeigt gegensätzliche Ergebnisse. Buchner, Schulze, Zeifang und Sabo (2005) führten bei 29 Patienten pedographische Messungen vor und sechs Monate nach Scarf-Osteotomie durch, wobei laut Rehm und Fecher (2004) Ergebnisse von Scarf und Austin Operationen vergleichbar sind. Die sechsmonatige Nachuntersuchung zeigte eine Zunahme des maximalen Mitteldrucks in fünf von acht Fußregionen. Mit dieser Studie konnte erstmals „ein signifikanter Anstieg des maximalen Mitteldrucks unter dem ersten Strahl, sowie eine Annäherung an die Druckverteilung beim Fußgesunden erreicht werden“ (Buchner et al, 2005, S. 237).

## **5 Methoden**

Die Daten der Untersuchungsgruppe wurden alle im Zeitraum von Jänner 2003 bis April 2005 aufgenommen. In Summe nahmen 34 Personen - ohne Alterseinschränkung - an der Untersuchung teil. Bei jedem Patienten wurde präoperativ, ein bis zwei Tage nach der Operation und ein Jahr postoperativ standardisierte Röntgenbilder vom Vorfuß unter Belastung und schräg seitlich angefertigt. Im radiologischen Bild wird der Hallux valgus Winkel standardisiert nach Schneider et al. (2002) gemessen. Weiters werden prä- und ein Jahr postoperativ Fußdruckmessungen mit Hilfe einer Kraftmessplatte durchgeführt, ausgewertet und aus den erhobenen Daten vier Winkel berechnet. Bei den beiden Untersuchungen (prä-/1 Jahr postoperativ) wurden auch das klinische Erscheinungsbild sowie die subjektive Zufriedenheit und der subjektive Schmerz gemeinsam mit einem Arzt mittels Fragebogen erhoben. Sowohl die Zufriedenheit als auch der Schmerz wurden anhand der visuellen Analogskala (VAS) bewertet. Hierbei bedeutet beim Schmerz Null kein Schmerz und Zehn tödlicher Schmerz. Die Zufriedenheit wird gegensätzlich bewertet. In diesem Fall bedeutet Null nicht zufrieden und Zehn sehr zufrieden.

Für die Studie wurden folgende Ausschlusskriterien definiert: Hallux rigidus, geplante Kombination mit weiteren Eingriffen am Vorfuß (MT-Osteotomie, etc.), Diabetiker, Patienten mit Cerebralparaese, Revisionsoperationen und Muskelerkrankungen sowie Patienten mit Gangstörungen anderer Genese. Einschlusskriterien sind demnach alle konsekutiv zur Operation aufgenommenen Patienten mit Hallux valgus, mit oder ohne Hammerzehe. Demnach konnten in Summe 53 Füße in die Auswertung aufgenommen werden. Die Differenz ergibt sich daraus, dass nicht alle 34 Personen an beiden Füßen operiert wurden bzw. die 1-Jahres-Nachuntersuchung bereits nach sechs Monaten erfolgte oder gar nicht stattgefunden hatte.

### **5.1 Patientenfragebogen**

Bei der vierten Hypothese dieser Arbeit soll untersucht werden, ob eine Korrelation zwischen dem gemessenen (laut Röntgenbild) und dem berechneten (laut Fußdruckmessung) Hallux valgus Winkel sowie den einzelnen Parametern des Fragebogens, vor allem im Veränderungsprozess, besteht.

Im Zuge der zwei Untersuchungen (prä- und 1 Jahr postoperativ) wurde eine Befragung - mit Hilfe eines Fragebogens – von einem ortsansässigen Arzt durchgeführt um die Patienten in vielerlei Hinsicht zu beurteilen. Die einzelnen erhobenen Variablen im Fragebogen lauteten:

- Schmerz (0 = kein, 1 = gering, fallweise; 2 = mäßig, täglich; 3 = stark, nahezu immer)
- Aktivitätseinschränkung (0 = keine, 1 = nur bei Freizeitaktivitäten, 2 = Freizeit und Alltag, 3 = starke in Freizeit und Alltag)
- Schuhwerk (0 = modische Schuhe ohne Einlagen, 1 = bequeme Schuhe mit ständigen Einlagen, 2 = zugerichtete Schuhe, Orthesen)
- maximale Gehstrecke (0 = >1 km, 1 = 500 m - 1 km, 2 = 100-500 m, 3 = <100 m)
- Probleme mit Bodenunebenheiten (0 = keine, 1 = geringe, 2 = starke Schwierigkeiten)
- MTP Beweglichkeit (0 = >75°, 1 = 30-74°, 2 = <30°)
- IP Beweglichkeit (0 = keine Einschränkung, 1 = starke [<30°] Einschränkungen)
- MTP-IP Stabilität (0 = stabil, 1 = instabil)
- Schwielen MTP-IP Region (0 = keine oder schmerzlose, 1 = schmerzhafte Schwielen)
- Kosmetik (0 = sehr gut, 1 = leichte Fehlstellung, 2 = Fehlstellung symptomatisch)
- Beweglichkeit im Großzehengrundgelenk
- Metatarsalgie
- Schmerz nach VAS (0-10)
- Zufriedenheit nach VAS (0-10)

Mit Hilfe dieser Variablen soll eine mögliche Korrelation mit den einzelnen Winkeln untersucht werden, um eventuelle klinische oder psychologische Zusammenhänge zu erkennen.

## **5.2 Radiologische Untersuchung**

Hierbei ist eine dorsoplantare Aufnahme des Vorfußes unter Belastung entscheidend. Eine seitliche Aufnahme unter Belastung ist weniger aussagekräftig. Eine Aufnahme ohne Belastung wird nicht herangezogen, da sich das Ausmaß des Hallux valgus bei Belastung verändert (Imhoff, 2000). Dies bestätigen auch Fuhrmann, Layher und Wetzel (2003). Sie erkannten einen signifikanten Unterschied zwischen Röntgenaufnahmen am unbelasteten und belasteten Fuß. Bei den radiologischen Aufnahmen stehen die Patienten mit der Fußsohle flach und fest auf dem am Boden liegenden Film. Das zweite Bein wird - wenn es nicht zum gleichen Zeitpunkt operiert wurde - etwa einen halben Fuß dahinter als Stabilisierung aufgesetzt (Wanivenhaus, 1989).

### **5.2.1 Radiologische Winkelbestimmung**

Die radiologischen Winkel wurden anhand der Studie von Schneider et al. (2002) bestimmt. Sie untersuchten die Reproduzierbarkeit der Längsachseneinzeichnung des ersten Mittelfußknochens anhand einer „exactly defining“ Beschreibung. Es wurden der Hallux valgus Winkel und der Intermetatarsalwinkel für die Untersuchung herangezogen. In Summe wurden 100 Röntgenbilder von vier unabhängigen Klinikern vermessen. Dabei handelte es sich um 50 präoperative und 50 postoperative Aufnahmen nach Chevron-Osteotomie. Es erfolgten zwei Durchgänge zu jeweils zwei Vermessungen. Bei den ersten zwei Messungen erfolgte keine genaue Angabe über die Achseneinzeichnung, bei den anschließenden zwei Vermessungen wurden die Achsen anhand der Methode nach Mitchell eingezeichnet. „This method defines a line connecting the center of the articular surface of the metatarsal head and the center of the proximal articulation as the longitudinal axis of the first metatarsal (Schneider et al., 2002, S. 672).“ Diese Einzeichnung ist auch in Abbildung 12 dargestellt. Ohne genaue Angaben über die Einzeichnung der Achse wurde eine geringe Vergleichbarkeit erzielt. Bei genauer Definition der Achseneinzeichnung konnte eine verbesserte Reproduzierbarkeit der beiden Winkel erzielt werden, wobei die Ergebnisse bei den postoperativen Aufnahmen besser abschnitten. Zusammengefasst gilt, dass reproduzierbare Resultate anhand von genau beschriebenen Achsdefinitionen erzielt werden können.



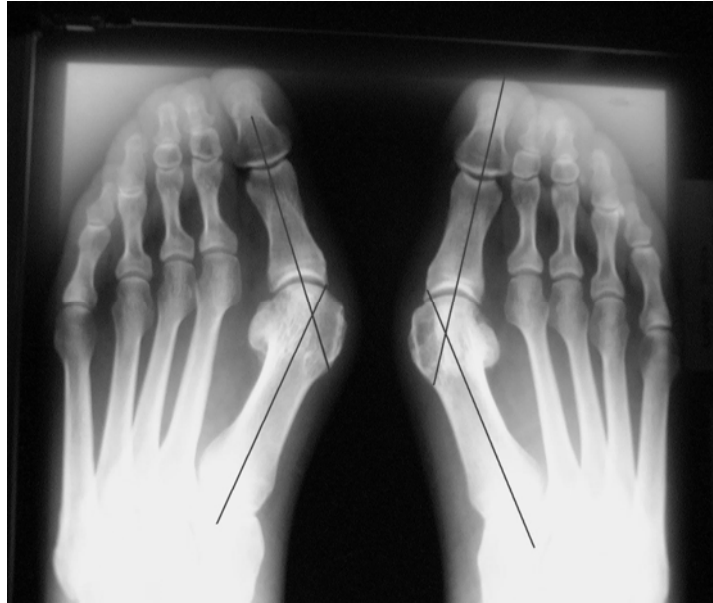


Abbildung 12: Röntgenologischer Hallux valgus Winkel

Dies wird auch bereits in einer früheren Studie von Schneider und Knahr (1998) bestätigt. Sie verglichen fünf verschiedene Methoden zur Einzeichnung der Längsachse des Metatarsale I. Diese Techniken konnten in zwei Gruppen eingeteilt werden. Bei zwei Messverfahren gab es eine mehr oder weniger exakte Definition der Längsachse, bei den restlichen drei konnte man sich an zwei Punkten jeweils an der Basis und dem Kopf des Metatarsale I orientieren. Das Ergebnis zeigte, dass die oben beschriebene Methode „seems to be most appropriate for calculation of the metatarsophalangeal angle and intermetatarsal angle I-II (Schneider et al., 1998, S. 535).“

An dieser Stelle ist eine weitere Studie anzuführen, welche sich mit dem Vergleich zwischen hand- und computergemessenen Winkeln beschäftigt. Es wurde anhand von 176 Röntgenaufnahmen untersucht, inwieweit Unterschiede zwischen der manuellen und der technischen Methoden bestehen. Das Resultat besagt, dass bezüglich des Hallux valgus Winkels keine signifikanten Unterschiede erzielt wurden, ganz gleich, ob der Winkel mit der Hand oder mithilfe eines speziellen Computerprogramms gemessen wurde. Dies ist vor allem bei großen Hallux valgus Winkeln ( $> 30^\circ$ ) zutreffend (Piqué-Vidal, Maled-García, Arabi-Moreno & Vila, 2006).

### 5.3 *Druckverteilungsanalyse*

Der Flächendruck an der Fußsohle während des Stehens kann heute bereits mit vielen verschiedenen Messmethoden untersucht werden. Erste Entwicklungen in diesem Bereich fanden im 19. Jahrhundert statt. Erst mit dem Einsatz von Computern war es jedoch möglich, hochwertige Fußdruckanalysen durchzuführen (Alexander, Chao & Johnson, 1990). Sie sind für eine rasche Aufzeichnung und numerische Auswertung großer Datenmengen, wie sie bei Druckverteilungsmessungen auftreten, geeignet (Hennig, 1990). Prinzipiell unterscheidet man zwischen zwei Kategorien: Messplattformen zum Messen des Drucks zwischen Boden und barfuß Gehen und „In-shoe“ Systeme, welche den Druck zwischen Fuß und Schuh messen (Cavanagh & Ulbrecht, 1994). Mit einer Messplattform wird die Haltung und ihre Stabilität anhand des Kraftangriffspunktes ermittelt. Sie liefert Messwerte für Vertikal- und Horizontalkräfte. Charakteristisch für alle Kraftmessplatten ist eine bestimmte Eigenfrequenz, wodurch die dynamische Messgenauigkeit beeinflusst wird. Neben Modellen, die mit Dehnmessstreifen arbeiten, ist die Anwendung von piezoelektrischen Messelementen zum Standard geworden (Debrunner et al., 1998). Am weitesten verbreitet in diesem Bereich ist das EMED-System NOVEL. Bei der vorliegenden Untersuchung handelte es sich um eine EMED-Kraftmessplatte mit 4 Sensoren/cm<sup>2</sup> und einer Abtastrate von 50 Hz, welche – aufgrund eines möglichen Höhenunterschiedes – in den Laufsteg eingebaut ist.

Die 34 Proband(inn)en gingen mit „self selected speed“ über die Kraftmessplatte. Grundsätzlich besitzt jeder seine eigene „freie Ganggeschwindigkeit“, welche durch diverse Faktoren beeinflusst wird beziehungsweise von verschiedenen körperlichen Gegebenheiten abhängig ist (Götz-Neumann, 2006). Daher wurden vor der Untersuchung zwischen drei und sechs Probeversuche durchgeführt, um sich von der Druckmessplatte am Boden nicht irritieren zu lassen, damit die üblichen Gangparameter beibehalten werden und um ein typisches Gangmuster der operierten Versuchspersonen zu erhalten. Diese wichtige Aufwärmphase wird auch von Rosenbaum und Becker (1997) in ihrem Beitrag erwähnt. Sie stellen fest, dass Personen oftmals bei der Aufforderung ihres natürlichen Ganges besonders langsam und behutsam gehen, was zu einem unnatürlichen nicht repräsentativen Gangbild ihrerseits führt. Bezüglich Ganganalysen erwähnt Kirtley (2006), dass man die natürlichen-biologischen Schwankungen ebenfalls im Auge behalten sollte, welche unveränderlicherweise bei mehreren Messungen hintereinander festzustellen sind.

Weiters ist auch anzumerken, dass der menschliche Gang nicht hundertprozentig symmetrisch ist und ein bestimmtes Maß an Asymmetrie als normal gilt und nicht als Signal für Beschwerden gesehen werden soll (Macellari, Giacomozzi & Saggini, 1999).

In Summe wurden zwischen drei und sieben Versuche jeweils für das rechte und linke Bein im System erfasst und später die Mittelwerte der gemessenen Winkel errechnet. Die genaue Berechnung der Winkel wird im nächsten Kapitel illustriert. Bei einigen Fußabdrücken war es nicht möglich, die Winkel zu bestimmen, daher reduzierte sich teilweise die Versuchszahl. Durchschnittlich konnten bei den Proband(inn)en trotzdem jeweils aus mindestens drei Versuchen rechts und links die Mittelwerte der Winkel berechnet und in die Auswertung miteinbezogen werden. Laut Hughes, Pratt, Linge, Clark und Klenerman (1991, S. 14) sind diese Ergebnisse reliabel, weil anhand ihrer Studie festgestellt wurde, dass „when the mean result of three or more walks was used reliability was excellent“.

Aufgrund der Fußbewegung während der Gangphasen wird zuerst die Ferse belastet, der Vorfuß senkt sich anschließend auf den Boden. Das Zentrum der Belastung verschiebt sich beim Abrollvorgang von der Fersenmitte nach vorne zwischen den Metatarsale III-IV und endet zwischen den ersten beiden Zehen. Dieser Verlauf ist von starken Abweichungen geprägt, welche für bestimmte Krankheitsbilder typisch sein können. Debrunner et al. (1998) erwähnen, dass schmerzhafte Füße oft an der Ferse und unter dem Metatarsale III belastet werden. Auch Alexander et al. (1990) nennen beim barfuß Gehen Spitzendruckwerte unter dem Metatarsalköpfchen III. Nyska, Liberson, McCabe, Linge und Klenerman (1998, S. 40) sind ähnlicher Ansicht und führen an, dass „patients with Hallux valgus deformity have a typical pattern of medial and central forefoot loading“.

Während eines Abrollvorganges werden massenhafte Daten von der Messplatte erfasst und mittels einer speziellen Software verarbeitet. Für die Datendarstellung der Druckverteilung unter der Fußsohle gibt es verschiedene grafische Möglichkeiten. Die meisten Programme bieten farbige zweidimensionale Fußdruckdarstellungen oder so genannte dreidimensionale „Druckgebirge“ (Rosenbaum et al., 1997). Bei der vorliegenden Untersuchung wurden für die Winkelberechnungen zweidimensionale Darstellungen des Fußabdruckes aus dem Programm novel© geometry, Novel GmbH München, herangezogen.

### 5.3.1 Funktionelle Winkelbestimmung

Für diese Untersuchung wurden vier verschiedene dynamische bzw. funktionelle Hallux valgus Winkel berechnet. Die Berechnung erfolgte mit dem Programm novel© geometry. Dieses ermittelt verschiedene geometrische Parameter aufgrund der Druckverteilungsmessung. Im Weiteren wird nun auf die einzelnen Berechnungen der vier unterschiedlichen Winkel eingegangen, welche in Abbildung 13 dargestellt sind:

- *Hallux valgus Winkel 1 (HV 1)*: Winkel zwischen der medialen Fußlängsachse (A) zum medialen Rand der Großzehe (C).
- *Hallux valgus Winkel 2 (HV 2)*: Kreuzpunkt zwischen der Längsachse des ersten Metatarsalköpfchens (Halbierung des Metatarsalkopf I Winkels = K2) und des Großzehengrundgliedes (Linie zur Trennung der Zehen vom Mittelfußknochen und dem Zentrum der Großzehe = BT).
- *Hallux valgus Winkel 3 (HV 3)*: Schnittpunkt zwischen der Längsachse des ersten Metatarsalköpfchens (K2) zum distalsten Punkt der Großzehe.
- *Hallux valgus Winkel 4 (HV 4)*: Winkel zwischen dem Schnittpunkt der Längsachse des ersten Metatarsalkopfes zur Vorfußbreite (K) und dem distalsten Punkt der Großzehe.

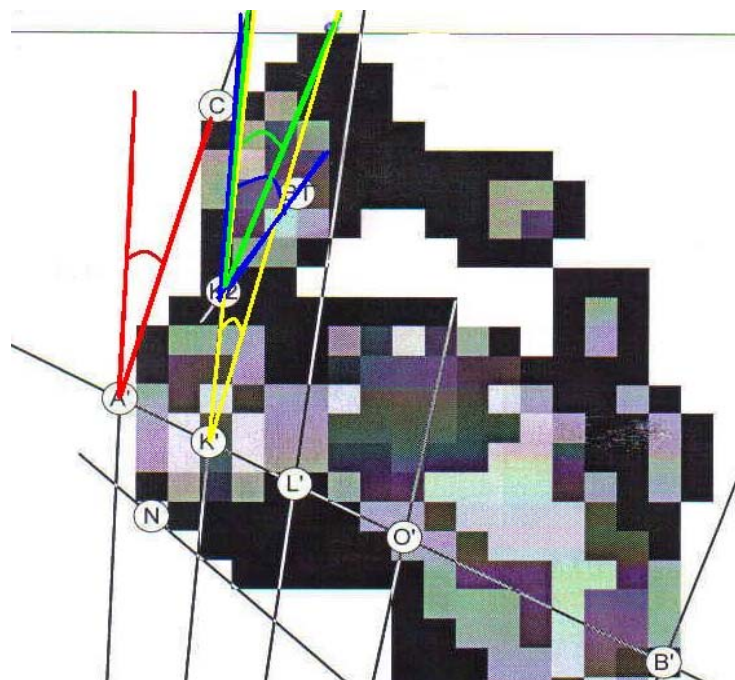


Abbildung 13: Funktionelle Winkelbestimmung  
(HV 1 = rot, HV 2 = blau, HV 3 = grün, HV 4 = gelb)

### **5.3.2 Problematik der Ganggeschwindigkeit**

„Zusammenfassend stellen wir fest, dass die Belastung des Fußes eine große Mannigfaltigkeit aufweist und sich mit der Gehgeschwindigkeit ändert“ (Debrunner et al., 1998, S. 59). Solche und ähnliche Aussagen findet man in der Literatur häufig. Wie wirkt sich jedoch nun eine unterschiedliche Ganggeschwindigkeit auf die Veränderung der dynamischen Hallux valgus Winkel aus? Um diese Frage zu beantworten (diesbezüglich gibt es keine vergleichbaren Studien in der Literatur), wurde eine kleine Untersuchung mit fünf Testpersonen (4 männlich, 1 weiblich) durchgeführt. Bei den fünf Untersuchungsteilnehmern wurden Druckverteilungsmessungen mit drei unterschiedlichen Ganggeschwindigkeiten (normal, langsam, schnell) durchgeführt. Der Versuchsaufbau glich dem der hiesigen Studie. Es wurden jeweils drei gültige Versuche mit dem rechten und linken Bein im System erfasst und die vier dynamischen Winkel berechnet.

### **5.4 Datenaufbereitung**

Im ersten Schritt wurden die Stammdaten der Patienten aus einer Datenbank übernommen. Darauf folgend wurden alle gesammelten Daten in ein Dokument gespeichert. Im Anschluss daran erfolgte die Zuordnung der Daten zu den einzelnen Personen. Diese Zuteilung gliederte sich in die Daten der drei röntgenologischen Aufnahmen, die vier errechneten Winkel prä- als auch postoperativ sowie die prä- und postoperativen Fragebogenergebnisse.

Die vorliegende Datenmaske wurde demnach so aufbereitet, dass die radiologisch gemessenen Winkel prä- und postoperativ mit den Winkelberechnungen aus der Programm-Software der Fußdruckanalyse verglichen und hinsichtlich ihrer Treffgenauigkeit untersucht werden konnten. Weiters wurden auch Korrelationen zwischen den radiologischen Messungen, den Ergebnissen der Druckmessung sowie den klinischen Symptomen wie Schmerzen, Beweglichkeit, Einschränkungen und Zufriedenheit hergestellt.

## 5.5 Statistische Auswertung der Daten

### 5.5.1 Deskriptivstatistik

Für die Beschreibung und grafische Auswertung der Daten wurden die Programme SPSS 14.0 und Microsoft Office Excel 2003 verwendet. Bei den Grafiken des Fragebogens handelt es sich um Häufigkeiten, bei den restlichen Variablen um Durchschnittswerte.

### 5.5.2 Inferenzstatistik

Im Zuge dieser Diplomarbeit werden vier verschiedene Hypothesen, welche im ersten Kapitel genannt wurden, untersucht. Bei allen vier handelt es sich um Zusammenhangsüberprüfungen zwischen zwei Variablen. „Dabei geht es um Zusammenhänge der Art ‚je größer die eine Variable, desto größer die andere‘ oder auch ‚je größer die eine Variable, desto kleiner die andere‘“ (Zöfel 2002, S. 118). Genauer gesagt geht es um die Beschreibung des Zusammenhangs mit Hilfe einer Maßzahl, dem so genannten Korrelationskoeffizienten. Dieser wird mit dem Kleinbuchstaben  $r$  bezeichnet und liegt stets zwischen -1 und +1. Für die Stärke des Zusammenhangs ist lediglich der Betrag des Korrelationskoeffizienten maßgebend. Die diesbezügliche übliche Einstufung ist in nachfolgender Tabelle 1 vorgestellt.

Tabelle 1: Einstufung des Korrelationskoeffizienten (Zöfel, 2002, S. 120)

<b>Korrelationskoeffizient</b>	<b>Einstufung</b>
$ r  \leq 0,2$	sehr geringe Korrelation
$0,2 <  r  \leq 0,5$	geringe Korrelation
$0,5 <  r  \leq 0,7$	mittlere Korrelation
$0,7 <  r  \leq 0,9$	hohe Korrelation
$0,9 <  r  \leq 1$	sehr hohe Korrelation

Prinzipiell unterscheidet man zwei Arten von Korrelationen. Die „klassische“ Produkt-Moment-Korrelation auch Korrelationskoeffizient nach Pearson genannt und die Rangkorrelation nach Spearman.

Erst genannter Korrelationskoeffizient dient der Zusammenhangsbeschreibung zwischen zwei intervallskalierten und normalverteilten Variablen. Der zweite Korrelationskoeffizient (nach Spearman) wird berechnet, wenn die zwei Variablen mindestens ordinalskaliert sind. Dieses Verfahren ist jedoch auch bei intervallskalierten Variablen zu nutzen, wenn keine Normalverteilung gegeben ist (Zöfel, 2002).

Bei der Untersuchung der vierten Fragestellung - Gibt es Zusammenhänge bezüglich der Verbesserung zwischen dem radiologischen und dynamischen (funktionellen) Hallux valgus Winkel sowie den einzelnen Variablen des Fragebogens? – kommt vor der Berechnung der einzelnen Korrelationen (um diese rechnen zu können) ein weiteres statistisches Verfahren zur Anwendung. Hierbei handelt es sich um die Berechnung der Verbesserung, oder statistisch ausgedrückt, um die Berechnung des Unterschiedes der einzelnen Variablen vor und nach der Operation.

Im Allgemeinen handelt es sich bei statistischen Analysen um zweiseitige Testformen. Es sei denn, dass eine Datengruppe von vornherein bessere Werte aufweist. Bei dieser Studie könnte an und für sich davon ausgegangen werden bzw. wäre wünschenswert, dass die Werte ein Jahr nach der Operation besser als vor dem medizinischen Eingriff sind. Daher könnte man auch einseitig testen. Da jedoch nicht von vornherein feststeht, ob sich die Werte tatsächlich verbessert haben, wird dennoch zweiseitig getestet (Zöfel, 2002).

Für die Berechnung der Unterschiede zwischen den drei röntgenologischen Winkeln dient eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung, welche zum Vergleich von mehr als zwei abhängigen Stichproben hinsichtlich ihrer Mittelwerte verwendet wird. Die diesbezüglichen Voraussetzungen, dass die Werte der Stichprobe normalverteilt und eine Varianzhomogenität gegeben ist, wurden überprüft und bestätigt.

Von einer abhängigen Stichprobe spricht man, wenn eine Variable zu mehreren Zeitpunkten gemessen wurde. Dies liegt auch bei den Daten der Druckverteilungsmessung sowie den intervallskalierten Daten des Fragebogens vor. Daher erfolgt bei diesen Variablen eine Berechnung mit Hilfe des T-Tests für abhängige Stichproben. Dieser Test vergleicht zwei abhängige Stichproben hinsichtlich ihrer Mittelwerte, wobei die Differenz der Messwertpaare wiederum normalverteilt sein muss.

Ist dies nicht gegeben, kommt der Wilcoxon-Test zum Einsatz. Gleichfalls wird dieser auch beim Vorliegen von Ordinalniveau angewendet und ersetzt so den T-Test für abhängige Stichproben (Zöfel, 2002).

Abschließend wurde versucht, ob man anhand eines statistischen Verfahrens aufgrund des röntgenologischen Winkels auf dynamische Winkel der Druckverteilungsanalyse schließen kann. Hierfür wird das statistische Verfahren der multiplen Regression angewendet. Die Analyse wird sowohl prä- als auch postoperativ durchgeführt. Die Voraussetzungen für dieses Verfahren sind der lineare Zusammenhang zwischen der abhängigen und den unabhängigen Variablen sowie die Multikollinearität.

Alle Ergebnisse sind auf einem Wahrscheinlichkeitsniveau von üblicherweise 95 % abgesichert. Demnach beträgt die Irrtumswahrscheinlichkeit 5 %. In seltenen Fällen wird diese auch mit 1 % bestimmt (Ponocny-Seliger & Ponocny, 2006).

#### ***5.5.2.1 Überprüfung der Normalverteilung***

Eine entscheidende Rolle in der Inferenzstatistik spielt die Normalverteilung, welche schon mehrmals genannt wurde. Je nachdem, ob die Werte normalverteilt sind oder nicht, sind verschiedene statistische Tests durchzuführen. Daher ist vor der Anwendung solcher Tests diese zu überprüfen. Hierzu wird in dieser Untersuchung der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest verwendet (Zöfel, 2002). Die Ergebnisse beruhen darauf, dass die Annahme einer Normalverteilung bei einem Signifikanzniveau  $p > 0,05$  gegeben ist (Brosius, 2002).



## 6 Ergebnisse

### 6.1 Deskriptivstatistik

An der vorliegenden Untersuchung nahmen insgesamt 34 Proband(inn)en im Alter zwischen 35 und 87 Jahren teil. Daraus ergibt sich ein Durchschnittsalter von 59 Jahren. Insgesamt haben lediglich zwei Männer an der Studie teilgenommen. Um die grafische Auswertung übersichtlich zu gestalten, wurden die Proband(inn)en in folgende Altersgruppen eingeteilt (siehe Abbildung 14).

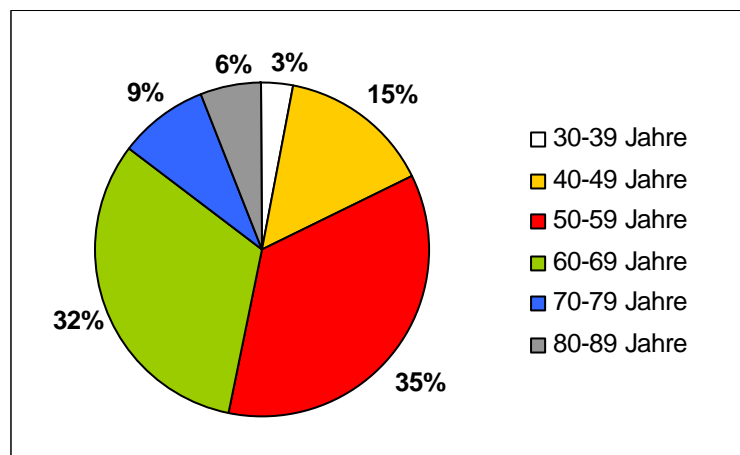


Abbildung 14: Altersgruppen in Prozent

Je ein Drittel der Untersuchungsgruppe ist zwischen 50 und 59 sowie 60 und 69 Jahre. Laut Coughlin und Jones (2007) wird eine durchschnittliche Entwicklung der Fehlstellung zwischen der dritten und fünften Lebensdekade genannt.

Von den 34 Personen wurden knapp über die Hälfte an beiden Füßen gleichzeitig und etwas weniger als die Hälfte einseitig operiert. Dies ist auch in Abbildung 15 ersichtlich.

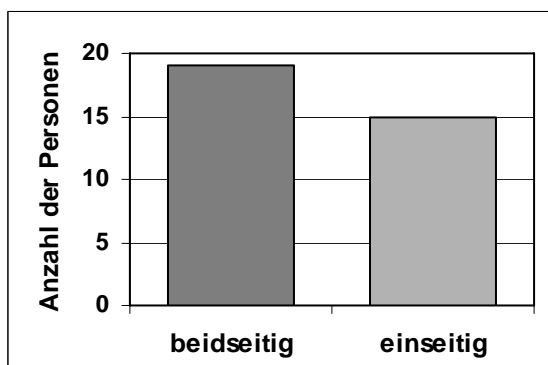


Abbildung 15: ein- bzw. beidseitige Operation

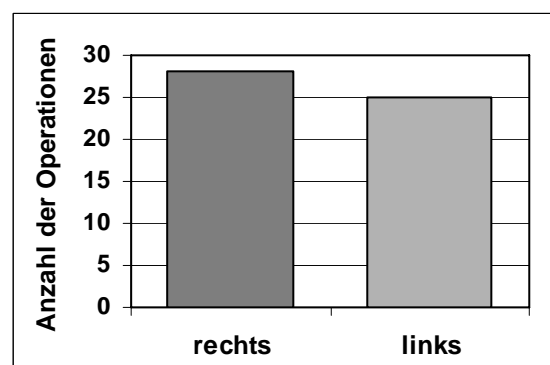


Abbildung 16: operierte Seite

Aufgrund der ein- und beidseitigen Operationen bei den 34 Proband(inn)en ergibt sich eine Gesamtsumme von 53 operierten Füßen. Bezüglich der operierten Seite gibt es kaum Unterschiede. Von der Gesamtanzahl der operierten Füße wurden 28 rechts und 25 Füße links operiert, siehe Abbildung 16.

In der nachfolgenden Abbildung 17 sieht man die Aufteilung der gesamten operierten Füße. Die Aufteilung bezieht sich auf die drei Bereiche, welche in dieser Diplomarbeit verglichen werden. Dabei handelt es sich um die ausgefüllten Fragebögen, die Röntgenbilder sowie die Druckverteilungsmessungen. Diese Bereiche werden sowohl prä- als auch ein Jahr postoperativ untersucht. Demnach sind von 37 Füßen, oder 70 %, alle Daten (Röntgenbilder, Druckverteilungsmessungen, Fragebögen) sowohl prä- als auch postoperativ vorhanden. Bei rund einem Fünftel der Daten liegen lediglich die präoperativen Zahlen vor und bei den restlichen wurden nur die postoperativen Ergebnisse in die Studie miteinbezogen.

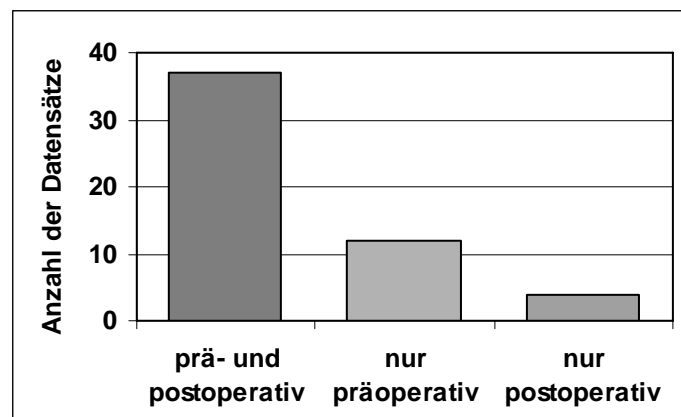


Abbildung 17: Aufteilung der operierten Füße

Die präoperativen Zahlen ergeben sich daraus, dass oftmals keine Daten von der einjährigen Nachuntersuchung vorhanden sind, worauf zu schließen ist, dass diese gar nicht oder nicht im orthopädischen Spital Speising stattgefunden hat. In Einzelfällen erfolgte die Nachuntersuchung bereits nach sechs Monaten. Darum konnten auch hierbei keine postoperativen Daten in die Auswertung miteinbezogen werden. In anderen Fällen konnte der Röntgenwinkel vor der Operation nicht ermittelt werden, da die Aufnahmen in anderen Institutionen angefertigt wurden und nicht vorhanden waren. Aus diesem Grund gibt es Datensätze, die nur den postoperativen Teilbereich ausdrücken.

### 6.1.1 Fragebogen

Wie bereits im vorigen Kapitel erwähnt, erfolgte während der medizinischen Untersuchung, sowohl prä- und ein Jahr postoperativ, eine Befragung der Patienten mittels Fragebogen. Dieser Fragebogen wurde zusammen mit einem ansässigen Arzt ausgefüllt. Wurden die Patienten an beiden Füßen operiert, wurde derselbe Fragebogen zweimal - jeweils für rechts und links - ausgefüllt. Auf den Inhalt des Fragebogens wurde bereits in Kapitel 5.1 Patientenfragebogen eingegangen. Der erste Zeitpunkt der Befragung war bei rund 60 % der Untersuchungsgruppe ein bis zwei Tage vor oder am selben Tag der Operation. Bei den übrigen Personen war der Zeitpunkt früher. Die einjährige Nachuntersuchung erfolgte bei mehr als der Hälfte der Proband(inn)en rund dreizehn Monate nach der Operation.

Im Weiteren werden nun die Ergebnisse der Fragebogenuntersuchung dargestellt. Hierbei handelt es sich um eine Gegenüberstellung der prä- und postoperativen Daten. Bei den ersten sieben Abbildungen handelt es sich um ordinal skalierte Daten. Die erste Grafik zeigt die Gegenüberstellung des empfundenen Schmerzes vor und nach der Operation. Wie aus Abbildung 18 ersichtlich ist, handelte es sich hierbei um eine vierstufige Skala. Von den 50 ausgefüllten Fragebögen gaben lediglich drei Personen keinen Schmerz vor der Operation an. Demgegenüber stehen über ein Drittel mäßige und starke, nahezu immer vorhandene Schmerzen. Ein Jahr später waren bis auf zwei Personen alle von starken, nahezu immer vorhandenen Schmerzen befreit. Knappe 50 % der Untersuchungsgruppe waren nach der Operation schmerzfrei und ein Viertel der Proband(inn)en gaben nur noch geringe bzw. fallweise Schmerzen an.

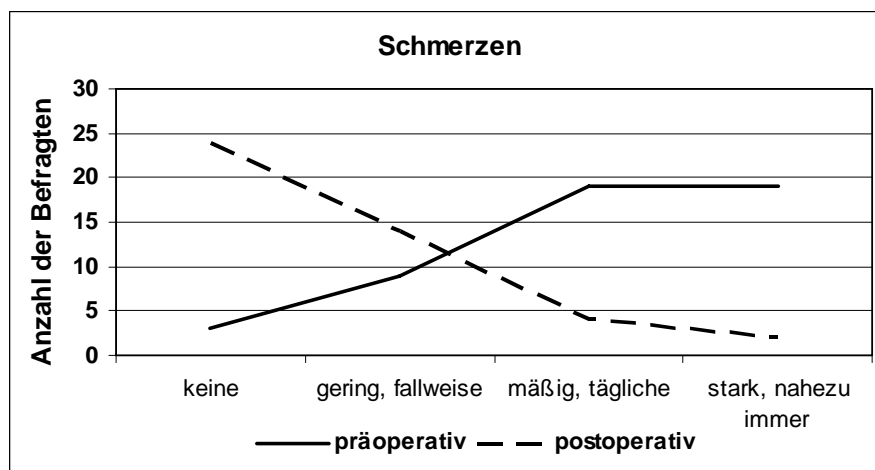


Abbildung 18: Gegenüberstellung der Schmerzen prä- zu postoperativ

In Abbildung 19 werden die Aktivitätseinschränkungen dargestellt. Die Antwortmöglichkeiten waren mit: keine Einschränkungen; keine Einschränkungen im täglichen Leben, nur bei Freizeitaktivitäten; Einschränkungen im täglichen Leben und bei Freizeitaktivitäten sowie starke Einschränkungen im täglichen Leben und bei Freizeitaktivitäten vorgegeben. Auch hier kann postoperativ eine wesentliche Verbesserung erkannt werden. Über 70 % der befragten Personen gaben vor der Operation Aktivitätseinschränkungen in der Freizeit und im Alltag bzw. starke Einschränkungen in beiden Bereichen an. Ein Jahr nach der Operation wurden diese Antworten nur noch von 14 % angegeben und vergleichsweise 73 % nannten keine Einschränkungen mehr.

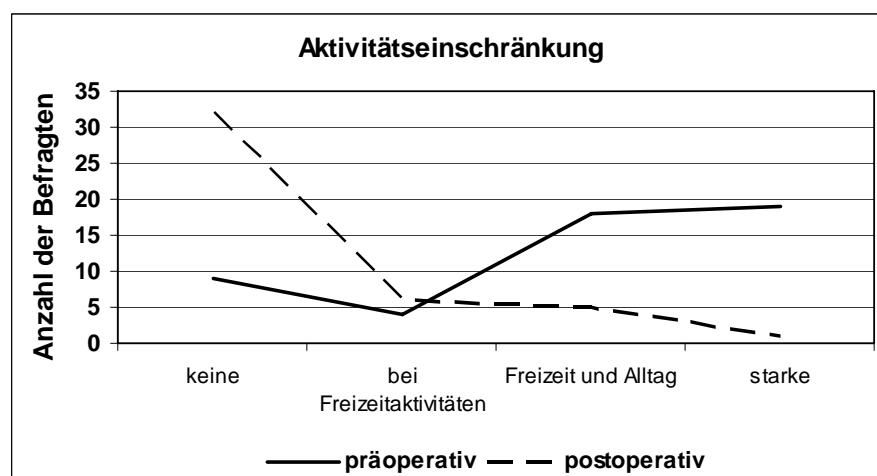


Abbildung 19: Gegenüberstellung der Aktivitätseinschränkung prä- zu postoperativ

Ein weiterer Punkt bei der Untersuchung war die Frage nach dem Schuhwerk. Die Ergebnisse diesbezüglich sind in Abbildung 20 dargestellt. Hier sollte herausgefunden werden, ob die Personen modische, konventionelle Schuhe ohne Einlage bzw. bequeme Schuhe mit ständiger Einlagenversorgung oder ununterbrochen angefertigte Schuhe (Orthesen) tragen.

Das Ergebnis zeigt, dass niemand mit angefertigten Schuhen oder Orthesen versorgt wird, jedoch 90 % der Untersuchungsgruppe Einlagen tragen. Postoperativ konnte diese Zahl auf mehr als die Hälfte reduziert werden, sodass nunmehr 26 Personen modische Schuhe ohne Einlagen tragen können.

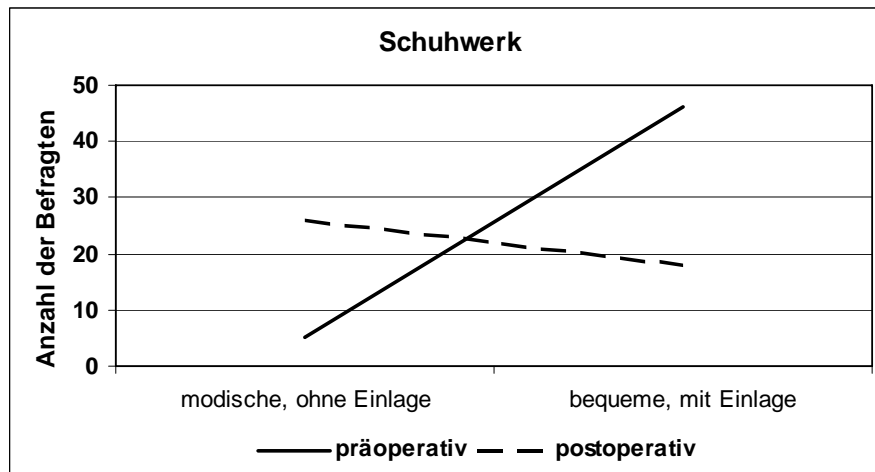


Abbildung 20: Gegenüberstellung des Schuhwerks prä- zu postoperativ

Auch bei der Frage nach der maximalen Gehstrecke konnte ein gutes Resultat erzielt werden, siehe Abbildung 21. Bereits vor dem medizinischen Eingriff konnten knapp 80 % eine Wegstrecke länger als einen Kilometer zurücklegen. Eine Entfernung von weniger als 100 Metern konnte von allen Befragten bewältigt werden. Die Verbesserung ist dahingegen zu betrachten, dass bei der einjährigen Nachuntersuchung bis auf eine Person alle Befragten eine Distanz von mehr als einen Kilometer zurücklegen können. Kurze Entfernungen von 100 bis 500 Metern - welche vor der Operation noch vereinzelt genannt wurden - sind für niemanden aus der Untersuchungsgruppe ein Hindernis und können von allen ohne Probleme gemeistert werden.

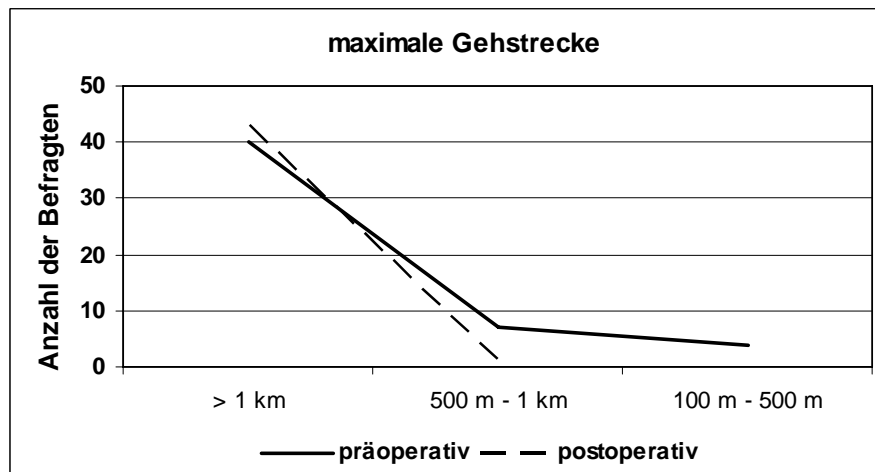


Abbildung 21: Gegenüberstellung der maximalen Gehstrecke prä- zu postoperativ

Abbildung 22 betrifft die Unebenheiten am Boden bzw. greift Schwierigkeiten mit den unterschiedlichen Untergründen auf. Die Testpersonen konnten keine Schwierigkeiten auf allen Böden, geringe oder starke Schwierigkeiten auf unebenen oder schrägen Böden, Stiegen oder Leitern angeben.

Präoperativ nannten 23 Personen keine Schwierigkeiten und je rund ein Viertel der Gruppe geringe und starke Probleme mit verschiedenen Untergründen. Letzt genannte konnten postoperativ wesentlich verringert werden, wonach lediglich zwei Personen über starke Schwierigkeiten klagten. Geringe Schwierigkeiten beim Gehen auf Bodenunebenheiten wurden nur noch von wenigen genannt und 75 % stellten keine Probleme mehr fest.

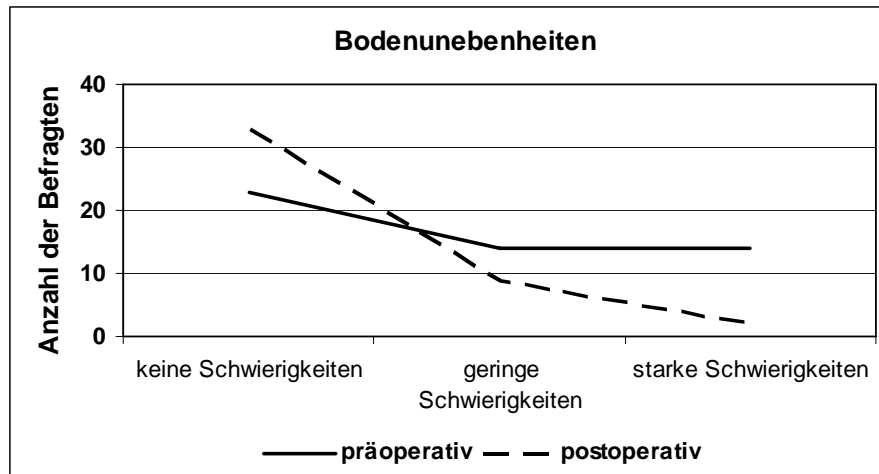


Abbildung 22: Gegenüberstellung der Bodenunebenheiten prä- zu postoperativ

Die nächste Grafik (Abbildung 23) zeigt, ob die Patienten vor und nach der Operation Schwielen hatten bzw. haben und ob diese insofern schmerzfrei oder schmerzhaft sind. Das Ergebnis ist eindeutig und der Operationserfolg bestätigt. Vor der Operation waren die Resultate zwischen schmerzfreien oder schmerzhaften Schwielen ausgeglichen. Nach der Korrektur waren bis auf drei Patienten alle von schmerzhaften Schwielen befreit.

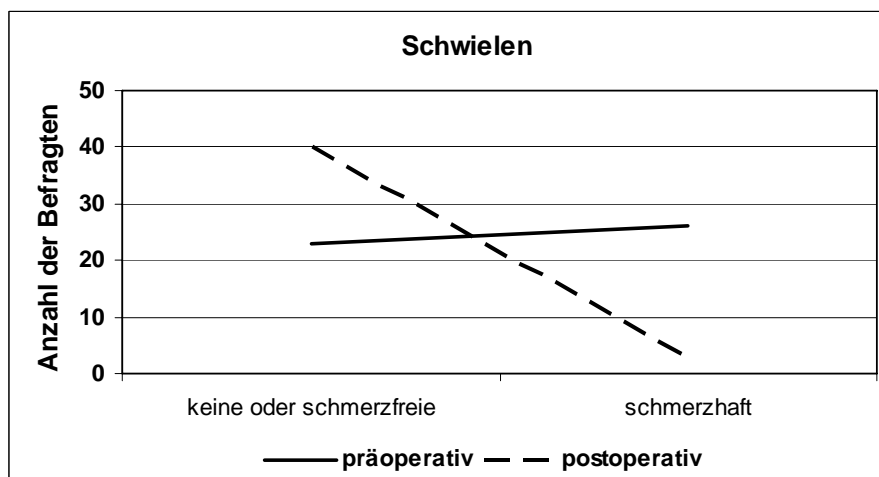


Abbildung 23: Gegenüberstellung der Schwielen prä- zu postoperativ

Wie in den vorigen Abbildungen ist auch das Resultat in der letzten Grafik (Abbildung 24) nennenswert, in welcher das kosmetische Erscheinungsbild beurteilt wird.

Hierbei konnten die Testpersonen bei den Antwortmöglichkeiten zwischen sehr gut, Großzehe gut korrigiert; gut, leichte Fehlstellung, asymptomatisch und schlecht, Fehlstellung, symptomatisch wählen. So ziemlich alle klagten vor der Operation über eine starke symptomatische Fehlstellung. Nach der medizinischen Korrektur im Vergleich gab diese Antwort nur noch eine Person an. Ein gutes medizinisches Erscheinungsbild mit einer leichten asymptomatischen Fehlstellung gaben etwas mehr als ein Drittel an und zwei Drittel der Testpersonen waren mit dem Eingriff sehr zufrieden und konnten eine gute Korrektur bestätigen.

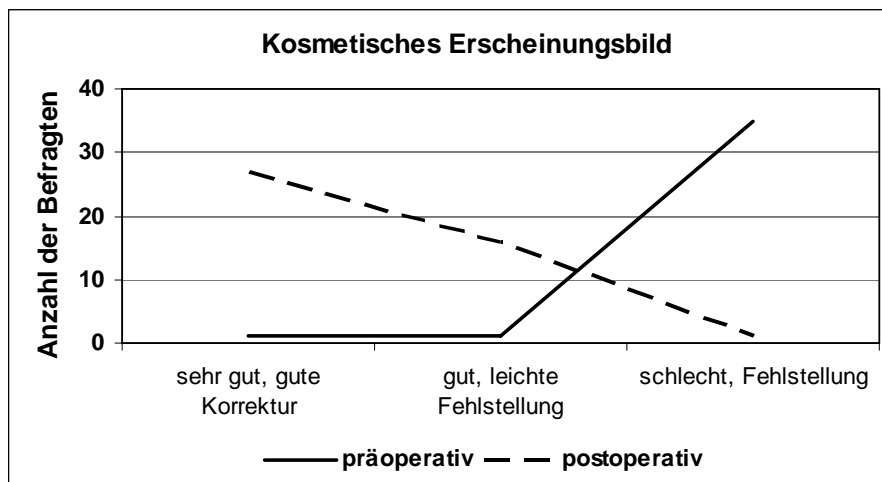


Abbildung 24: Gegenüberstellung der kosmetischen Korrektur prä- zu postoperativ

Weitere Punkte im Fragebogen betrafen die Beweglichkeit sowie Stabilität des Großzehengrund- und Zehengelenks betreffend. Auf eine grafische Auswertung wurde aufgrund mangelnder Aussagekraft verzichtet. Die Beweglichkeit im Metatarsophalangealgelenk (MTP) also Großzehengrundgelenk wurde sowohl vor als auch nach der Operation im Schnitt mit normal oder einer mäßigen Einschränkung bewertet. Starke Einschränkungen, weniger als 30°, konnten bei niemand in der Untersuchungsgruppe festgestellt werden. Beim Zehengelenk (IP-Beweglichkeit) konnten weder prä- noch postoperativ Einschränkungen in der Beweglichkeit erkannt werden, ebenso bei der Stabilität im Großzehengrund- und Zehengelenk. Die Überlastungsschmerzen an der Fußsohle, auch Metatarsalgie, den Hallux valgus betreffend sind schwer vergleichbar und unterschiedlich. Aus diesem Grund wird in dieser Auswertung nicht näher darauf eingegangen, obwohl diese im Fragebogen erhoben wurden. Um die Beweglichkeit im Großzehengrundgelenk dennoch nicht zu vernachlässigen, wurde unten angeführte Grafik erstellt.

Abbildung 25 zeigt eine Gegenüberstellung der Dorsalextension (Großzehe nach oben ziehen) mit der Plantarflexion (Großzehen nach unten ziehen) im Großzehengrundgelenk vor und nach der Operation. Die Einheit sind Winkelgrade und beziehen sich auf die Bodenauftrittsebene. Interessant ist, dass die Dorsalextension vor dem Eingriff niedriger als die Gegenbewegung war und sich dieses Ergebnis nach der Operation umkehrt. Dies könnte auf ein eventuelles Schmerzempfinden zurückzuführen sein, worauf an dieser Stelle nicht weiter eingegangen wird.

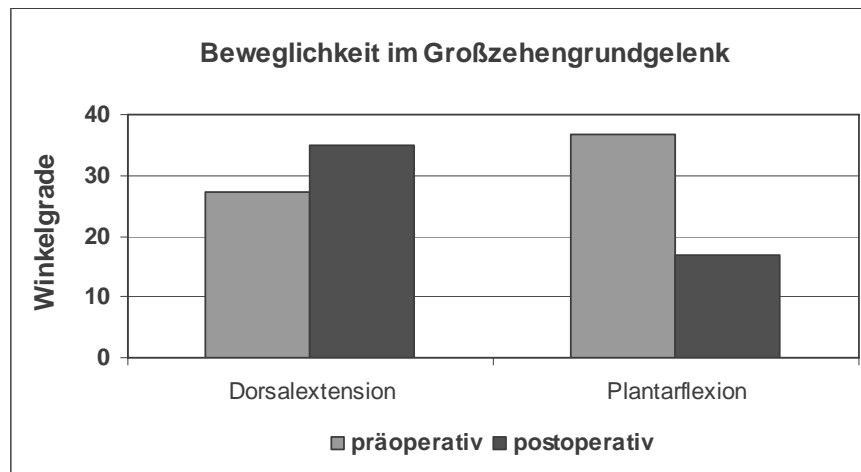


Abbildung 25: Gegenüberstellung der Beweglichkeit im Großzehengrundgelenk prä- zu postoperativ

Die letzten vier Grafiken beziehen sich auf den Schmerz und die Zufriedenheit anhand der VAS. Hierbei handelt es sich um intervallskalierte Daten. Aus diesem Grund werden die Resultate anhand einer Normalverteilungskurve mit den Mittelwerten sowie den Standardabweichungen dargestellt.

Die nachfolgenden zwei Grafiken beziehen sich auf den subjektiven Schmerz, gemessen mit der visuellen Analogskala (VAS). In Abbildung 26 ist das Schmerzempfinden vor der Operation dargestellt. Der Mittelwert liegt ziemlich in der Mitte und beträgt 5,49, die Standardabweichung 2,46. Obwohl die Zahlen fünf und acht viel öfter als andere Zahlen genannt wurden, kann präoperativ trotzdem von einer Normalverteilung bei dieser Variablen ausgegangen werden. Postoperativ, siehe Abbildung 27, ist dem nicht so. Hier kann nicht von einer Normalverteilung gesprochen werden, da es vor allem einen erheblichen Ausreißer gibt. Hierbei handelt es sich um die Zahl Null (= kein Schmerz), was wiederum absolut erfreulich für das Operationsergebnis nach einem Jahr ist. Auch der Mittelwert, welcher auf 2,37 (Standardabweichung: 3,03) gesunken ist, zeigt eine Verringerung der Schmerzen nach dem medizinischen Eingriff.



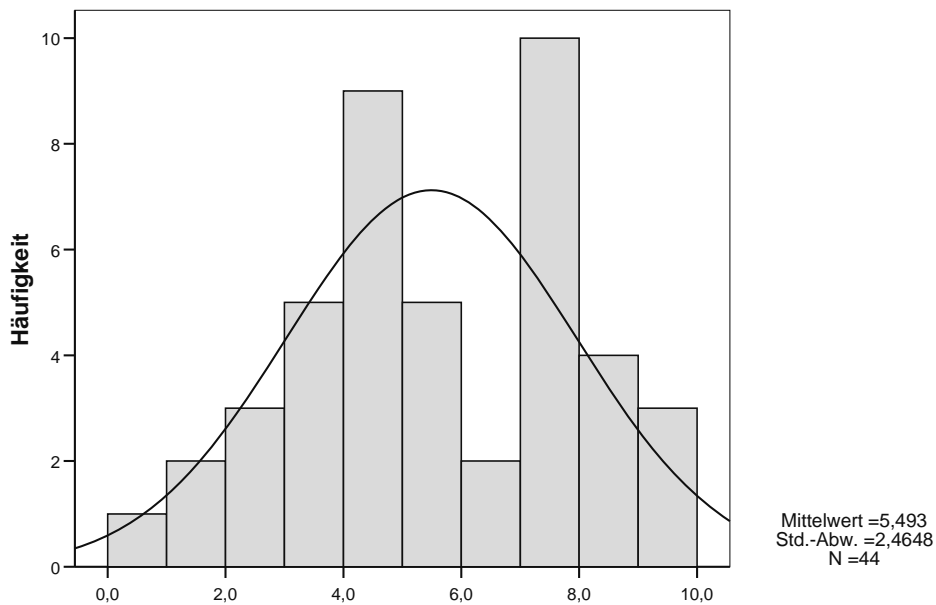


Abbildung 26: Grafische Darstellung der Schmerzskala nach VAS präoperativ

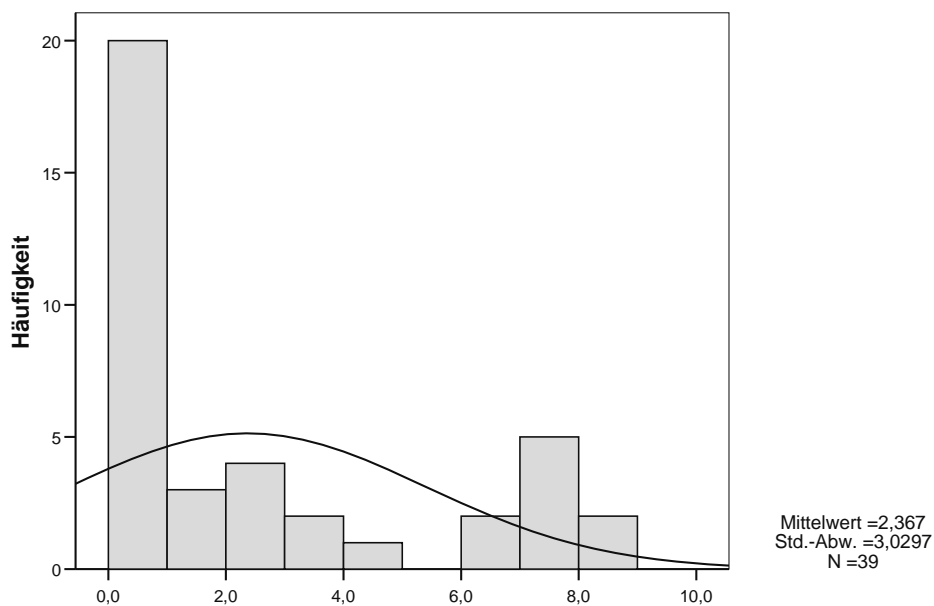


Abbildung 27: Grafische Darstellung der Schmerzskala nach VAS postoperativ

Folgende zwei Grafiken spiegeln die Zufriedenheit der Patienten nach VAS vor und nach dem korrigierenden Eingriff wider. Hierbei ist die Skalierung - wie bereits genannt wurde - umgekehrt zur Schmerzskala. In diesem Fall bedeutet Null nicht zufrieden und Zehn steht für eine maximale Zufriedenheit. Abbildung 28 zeigt die Zufriedenstellung vor der Operation. Es ist ersichtlich, dass beinahe alle Patienten überhaupt nicht bzw. wenig zufrieden sind. Einige wenige geben mit 8 eine hohe Zufriedenheit an, wobei es sich hierbei möglicherweise auch um eine Verwechslung handeln kann, da die Schmerzen in umgekehrter Richtung bewertet wurden.

Anhand der grafischen Auswertung kann man bei diesen Daten nicht eindeutig auf eine Normalverteilung schließen. Der Mittelwert liegt bei 2,39 und die Standardabweichung wurde mit 2,43 berechnet.

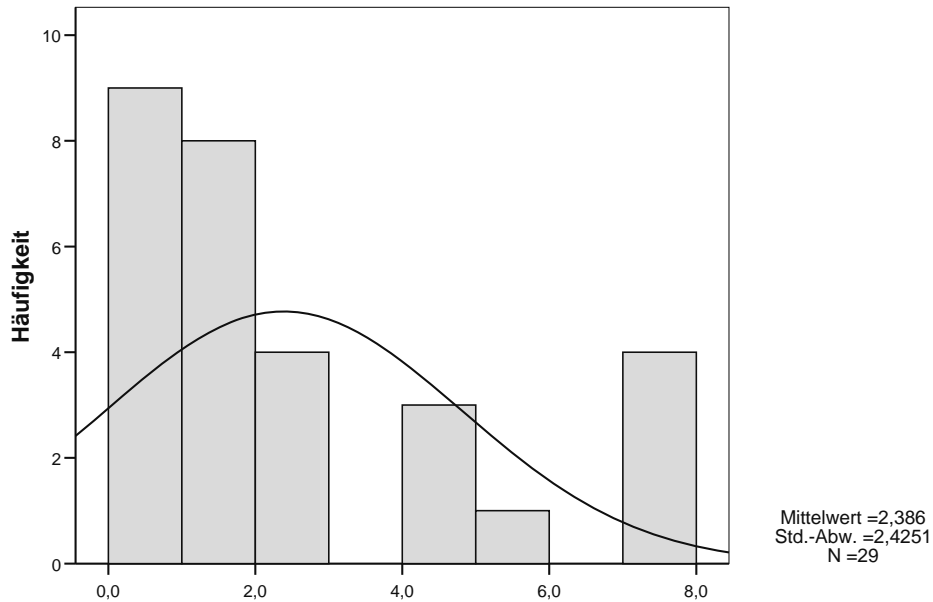


Abbildung 28: Grafische Darstellung der Zufriedenheit nach VAS präoperativ

Unten angeführte Abbildung 29 zeigt die Zufriedenheit der Patienten bei der einjährigen Nachuntersuchung. Der Mittelwert liegt bei 5,01 mit einer Standardabweichung von 4,22, was in Summe bedeutet, dass die Testpersonen mit dem Operationsergebnis mittelmäßig zufrieden sind. Auch bei dieser Grafik kann nicht von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen werden.

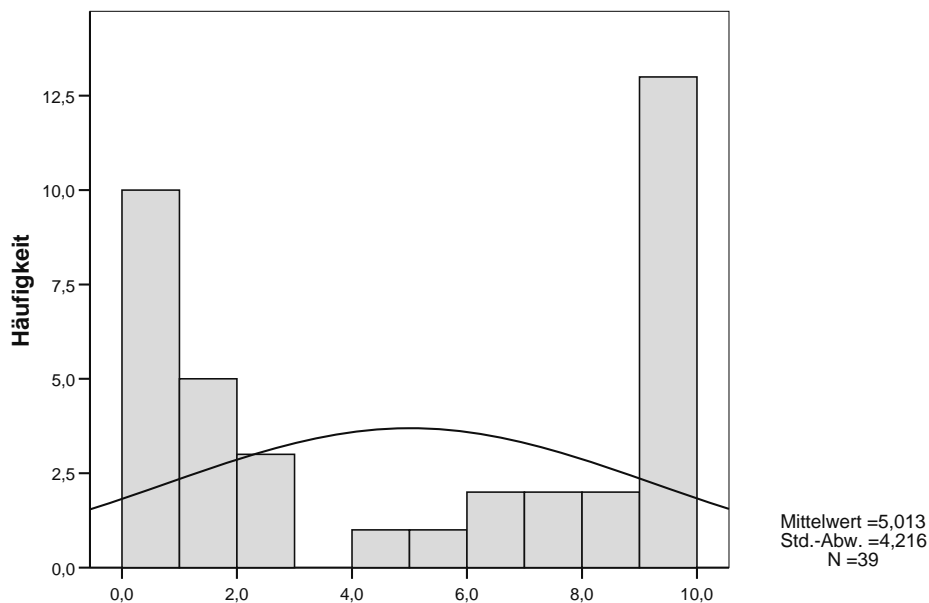


Abbildung 29: Grafische Darstellung der Zufriedenheit nach VAS postoperativ

## 6.1.2 Röntgenuntersuchung

Im Zuge dieser Studie wurden neben dem Fragebogen auch drei Röntgenwinkel für alle Proband(inn)en erhoben. Die genaue Erhebung des Winkels wurde in Kapitel 5.2.1 (Radiologische Winkelbestimmung) beschrieben. Die erste radiologische Aufnahme (= präoperativ) wurde beim Großteil der Untersuchungsgruppe zirka einen Monat vor dem Operationstag aufgenommen. Vereinzelt lagen die Aufnahmen mehrere Monate, maximal jedoch ein halbes Jahr, zurück. Postoperativ wurden Röntgenbilder zu zwei verschiedenen Zeitpunkten angefertigt. Das erste postoperative Röntgen (= postoperativ OP) wurde zumeist einen Tag bis eine Woche nach dem Eingriff aufgenommen. Vereinzelt lag auch hier der Zeitpunkt der Aufnahme länger zurück. Im Zuge der einjährigen Nachuntersuchung wurde eine dritte röntgenologische Aufnahme gemacht (= postoperativ 1 Jahr). Hierbei war der Zeitpunkt – ebenfalls mit einzelnen Ausnahmen – 13 Monate nach dem Operationstag.

Die nachfolgende Abbildung 30 zeigt die grafische Auswertung die Röntgenwinkel betreffend. Bei den Werten handelt es sich um Mittelwerte ( $\pm$  Standardabweichung) aller Testpersonen. Es ist zu erkennen, dass sich der postoperative Winkel zum präoperativen Winkel nach der Operation erheblich verbessert hat. Die anfänglichen rund  $30^\circ$  konnten auf rund  $7^\circ$  verkleinert werden. Ein Jahr später verschlechterte sich jedoch das Ergebnis ein wenig. Demnach stieg der Winkel von weniger als zehn Grad auf  $14^\circ$ . Zusammenfassend gilt, dass sich der Winkel ein Jahr nach dem medizinischen Eingriff um rund die Hälfte - im Vergleich vor der Operation - verringert hat.

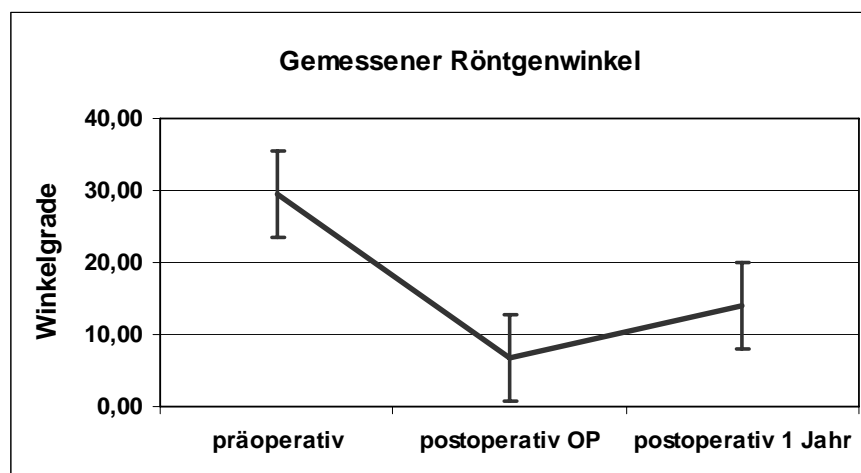


Abbildung 30: Darstellung der mittleren Röntgenwinkel und ihrer Standardabweichung

### 6.1.3 Druckverteilungsmessung

Den letzten Punkt der Deskriptivstatistik betrifft die Druckverteilungsmessung. Insgesamt wurden zwei pedographische Messungen durchgeführt. Genauere Information über die Ausführung dieser Analysen findet man im Kapitel 5.3 (Fußdruckanalyse). Die erste Messung fand entweder vor oder nach der ersten Röntgenuntersuchung statt. Aufgrund der Belastungspause nach der Operation fanden keine Messungen nach dem Eingriff statt, sodass die zweite Messung bei der einjährigen Nachuntersuchung erfolgte. Im Zuge der zwei Analysen wurden – wie bereits im Kapitel 5.3.1 (Funktionelle Winkelbestimmung) erwähnt – vier verschiedene Winkel prä- und postoperativ errechnet, welche in der nachfolgenden Grafik zu erkennen sind.

In der unten angeführten Abbildung 31 sind die vier errechneten Winkel (HV 1, HV 2, HV 3, HV 4) der pedographischen Messungen prä- zu postoperativ gegenübergestellt. Wie bei allen vier Winkeln zu erkennen, haben sich alle Ergebnisse nach einem Jahr verbessert. Die genaue Auswertung ergab, dass sich die durchschnittlichen Werte von HV 1 und HV 4 jeweils um  $4^{\circ}$  verringert haben. Eine ähnliche Veränderung sieht man auch beim Wert HV 3, dieser verkleinerte sich im Schnitt um  $6^{\circ}$ . Der größte durchschnittlich errechnete Wert weist auch die größte Veränderung auf. Der HV 2 Winkel reduzierte sich von durchschnittlich  $29^{\circ}$  präoperativ auf  $18^{\circ}$  postoperativ.

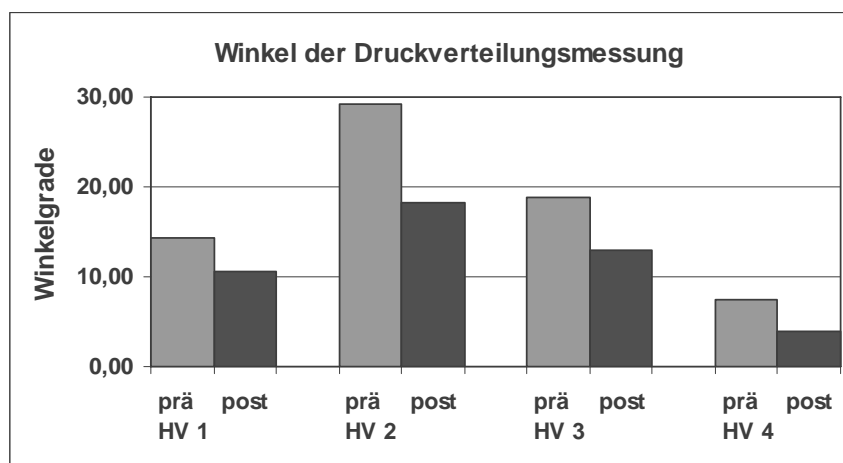


Abbildung 31: Darstellung der durchschnittlichen Winkel der Druckverteilungsmessung

### 6.1.3.1 Geschwindigkeitsbedingte Winkelveränderungen

Die Mittelwerte der Geschwindigkeiten der fünf Testpersonen betragen: normal = 157,76 m/s, langsam = 122,41 m/s und schnell = 209,15 m/s. Eine Gegenüberstellung der Mittelwerte pro Untersuchungsteilnehmer/in der drei Ganggeschwindigkeiten (normal/langsam/schnell) mit den vier dynamischen Winkeln der Druckverteilungsmessung wird in den Abbildungen 32 bis 36 dargestellt.

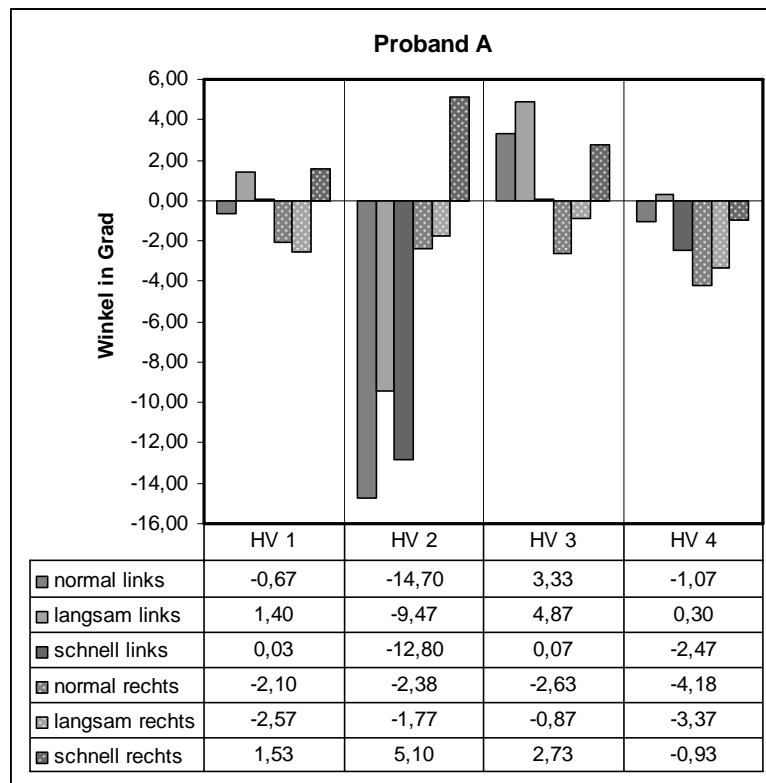


Abbildung 32: Geschwindigkeitsanalyse Testperson A

Auf den ersten Blick sind erhebliche Unterschiede zwischen dem rechten und linken Fuß bei allen drei Ganggeschwindigkeiten in Abbildung 32 zu erkennen. Dies wird auch in der Studie von Hughes und seinen Kollegen (1991, S. 17) beschrieben. Sie meinen: „...different sites of the foot react differently to an increase in the speed of walking.“ Die vier Winkel verändern sich ebenfalls sehr unterschiedlich im Bezug auf die Geschwindigkeiten. Es kommt vor, dass sich diese von negativen zu positiven Winkeln oder umgekehrt verändern, jedoch nicht einheitlich.

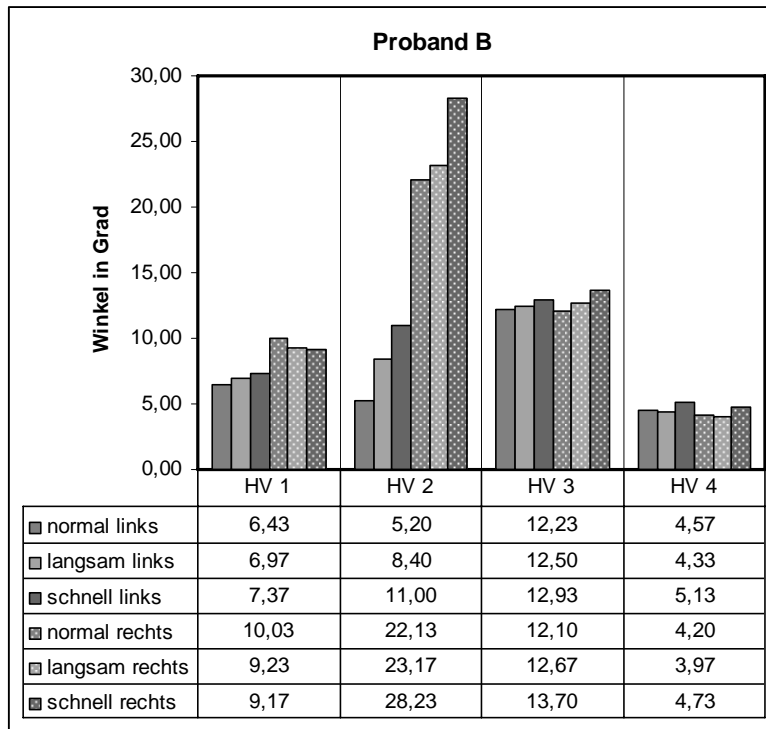


Abbildung 33: Geschwindigkeitsanalyse Testperson B

Abbildung 33 zeigt mit Ausnahme des vierten Hallux valgus Winkels, dass sich die Winkel mit Veränderung der Ganggeschwindigkeit erhöhen bzw. beim rechten Fuß beim ersten Hallux valgus Winkel verringern. Interessant ist, dass die Winkel bei normaler Ganggeschwindigkeit am kleinsten sind, mit einem langsameren Tempo leicht steigen/fallen und sich diese Steigung/Senkung beim schnellen Tempo fortsetzt. Beim ersten und dritten Winkel (HV 1, HV 3) beträgt diese Steigung im Schnitt weniger als ein Grad. Höhere Steigungen von rund drei Grad zeigt im Vergleich der zweite errechnete Hallux valgus Winkel. Betrachtet man den letzten Winkel, sind wiederum geringe Veränderungen sichtbar, wobei hier die Werte bei der langsamen Geschwindigkeit in Summe niedriger sind.

Wie in Abbildung 32 sind auch bei der nächsten Darstellung (Abbildung 34) bemerkenswerte Unterschiede zwischen dem rechten und linken Fuß sichtbar. Derartige Unterschiede wurden auch im Beitrag von Rosenbaum und Becker (1997) genannt. Sie erwähnten Schwankungen zwischen rechtem und linkem Fuß bei normaler Ganggeschwindigkeit von  $\pm 4\%$  bis  $\pm 13\%$ . Lediglich die geringe Steigung beim linken Fuß von HV 1 ist mit der Abbildung 33 vergleichbar. Auffallend bei den ersten drei Winkeln ist, dass der Winkel bei normaler Ganggeschwindigkeit beim rechten Fuß immer negativ ist und sich mit Veränderung des Tempos das Vorzeichen ändert.

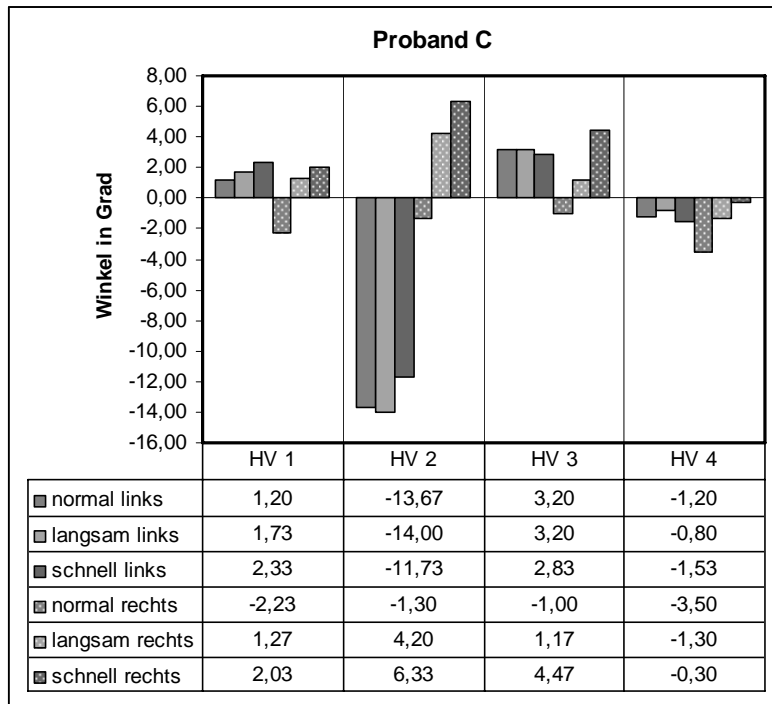


Abbildung 34: Geschwindigkeitsanalyse Testperson C

In der nächsten Abbildung 35 ist zu erkennen, dass die langsame Geschwindigkeit, mit Ausnahme der Werte links HV 1 und HV 2, bei allen Winkeln den größten oder kleinsten Wert annimmt. Die zwei genannten Werte zeigen - wie in Abbildung 33 - einen Anstieg bzw. Abfall der Winkel mit ändernder Geschwindigkeit.

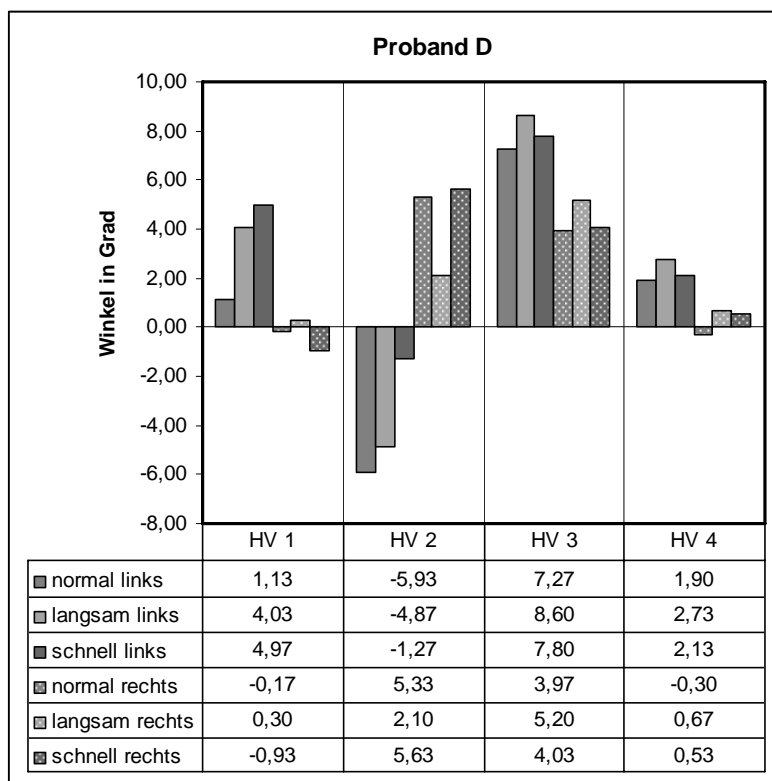


Abbildung 35: Geschwindigkeitsanalyse Testperson D

In der folgenden Abbildung 36 ist beim ersten Hallux valgus Winkel und beim linken Fuß des vierten Hallux valgus Winkels wiederum eine Vergrößerung der Winkel mit Veränderung der Geschwindigkeit zu erkennen. Die Winkel steigen vom normalen zum langsamen und schnellen Tempo. Die übrigen Werte sind ebenfalls vergleichbar. Der langsame Winkelwert ist am größten und die Winkel bei normaler und schneller Ganggeschwindigkeit sind mit Ausnahmen annähernd gleich.

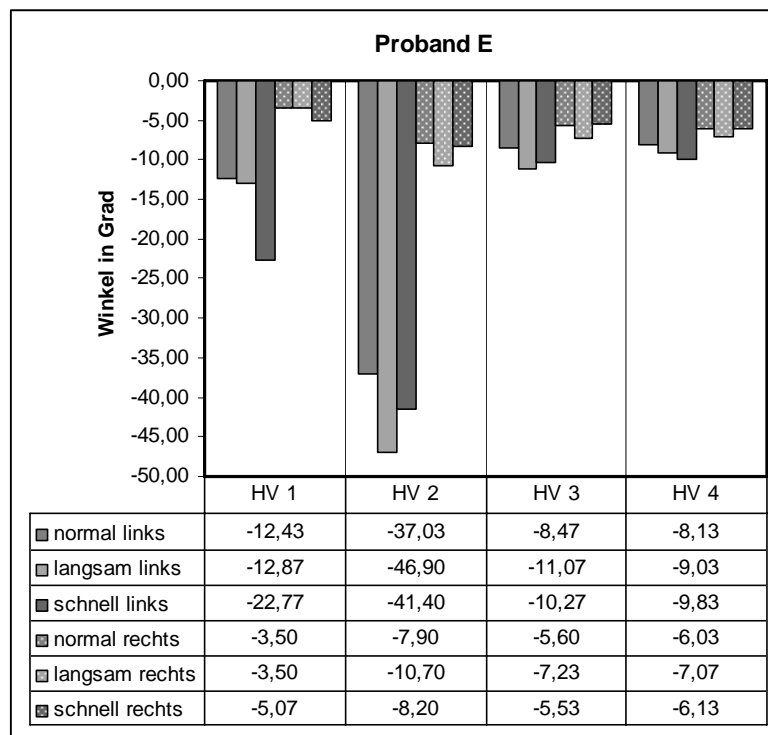


Abbildung 36: Geschwindigkeitsanalyse Testperson E

## 6.2 Inferenzstatistik

Im Zuge dieser Diplomarbeit wurden vier Fragestellungen mit den dazu aufgestellten Hypothesen untersucht. Die folgenden vier Unterkapitel geben nun Aufschluss über die daraus resultierenden Ergebnisse.



## 6.2.1 Präoperative Korrelation zwischen dem radiologischen und dynamischen Hallux valgus Winkel

In Abbildung 37 sind die Zusammenhänge des Röntgenwinkels mit den vier unterschiedlich berechneten Winkeln der Druckverteilungsmessung vor der Operation grafisch gegenübergestellt. Es ist ein Zusammenhang erkennbar: je größer der Winkel im Röntgenbild, desto größer sind auch die Winkel bei der Druckmessanalyse.

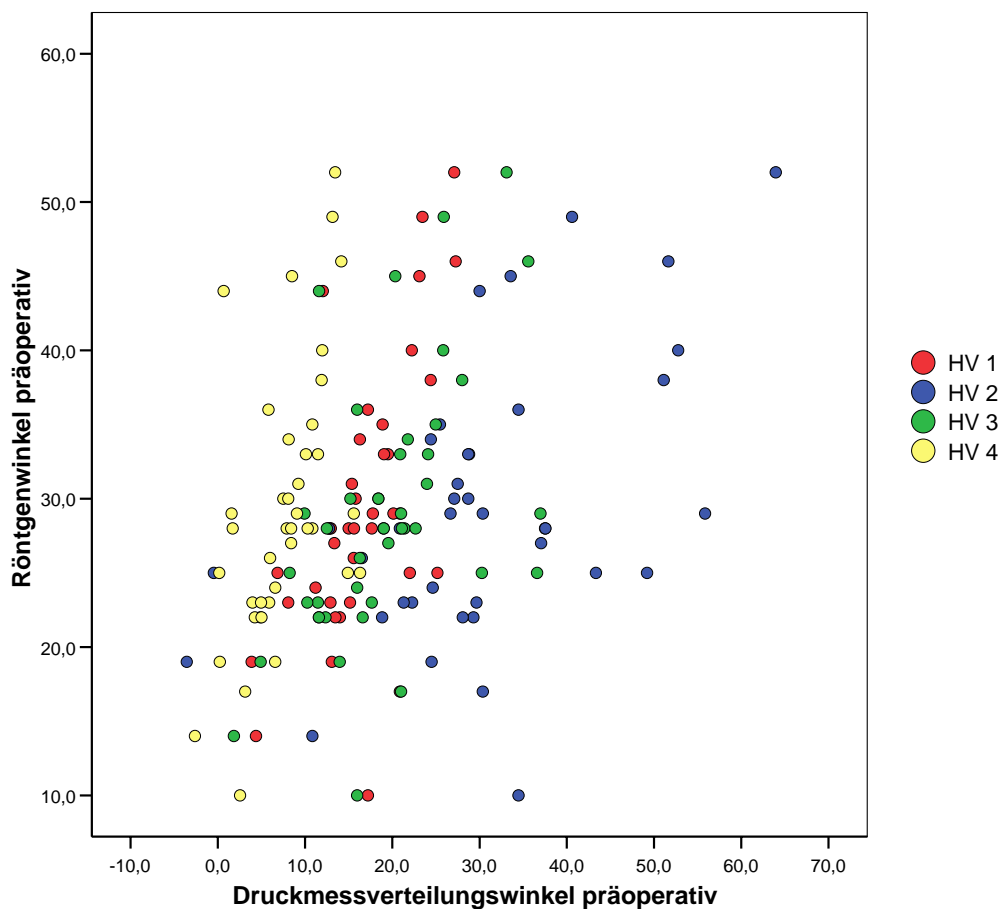


Abbildung 37: Gegenüberstellung der Winkel präoperativ

Wie bereits erwähnt, ist die Prüfung auf Normalverteilung bei intervallskalierten Daten eine Voraussetzung für die Durchführung der Pearson-Korrelation. Im Zuge dessen wurde der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest angewendet um die Normalverteilung zu überprüfen. Das Ergebnis zeigt (siehe Tabelle 2), dass außer bei der Variablen prä HV 1 sich die Verteilungen nicht signifikant von einer Normalverteilung unterscheiden.

Tabelle 2: Überprüfung der Normalverteilung präoperativ

	prä RÖ-Winkel	prä HV 1	prä HV 2	prä HV 3	prä HV 4
Kolmogorov-Smirnov-Z	,801	1,700	,759	,583	,410
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,542	<b>,006</b>	,612	,886	,996

Aufgrund des Ergebnisses wird für die nicht normalverteilte Variable mit der Rangkorrelation nach Spearman weitergerechnet. Bei den übrigen Ergebnissen wird die Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson angewendet.

Die Resultate, welche in den Tabellen 3 und 4 aufgelistet sind, zeigen folgende Ergebnisse: Bei beiden Korrelationen besteht bei allen vier dynamischen Winkeln ein signifikanter Zusammenhang mit dem Röntgenwinkel vor der Operation. Der Korrelationskoeffizient sagt jedoch aus, dass diese Zusammenhänge beim Vergleich des RÖ-Winkels mit HV 2 als gering und bei der Gegenüberstellung des RÖ-Winkels zu HV 1, HV 3 und HV 4 als mittelmäßig einzustufen sind. Daher ist das Ergebnis wenig aussagekräftig, da man erst bei einem Korrelationskoeffizienten von mindestens 0,7 von einem hohen Zusammenhang spricht.

Tabelle 3: Rangkorrelation nach Spearman: RÖ-Winkel zu HV 1 präoperativ

	prä RÖ-Winkel		prä RÖ-Winkel	prä HV 1
Spearman	prä RÖ-Winkel	Korrelationskoeffizient	1,000	<b>,621(**)</b>
		Sig. (2-seitig)	.	<b>,000</b>
		N	49	45

\*\* Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

Tabelle 4: Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson: RÖ-Winkel zu HV 2, HV 3, HV 4 präoperativ

		prä RÖ-Winkel	prä HV 2	prä HV 3	prä HV 4
prä RÖ-Winkel	Korrelation nach Pearson	1	<b>,453(**)</b>	<b>,514(**)</b>	<b>,569(**)</b>
	Signifikanz (2-seitig)		<b>,002</b>	<b>,001</b>	<b>,000</b>
	N	49	44	40	45

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

## 6.2.2 Postoperative Korrelation zwischen dem radiologischen und dynamischen Hallux valgus Winkel

Abbildung 38 zeigt die grafische Gegenüberstellung der Winkel ein Jahr nach der Operation. Im Vergleich zur vorigen Abbildung 37 ist wiederum ein Zusammenhang der Winkel zu erkennen, wobei sich die Röntgenwinkel nahezu halbiert haben.

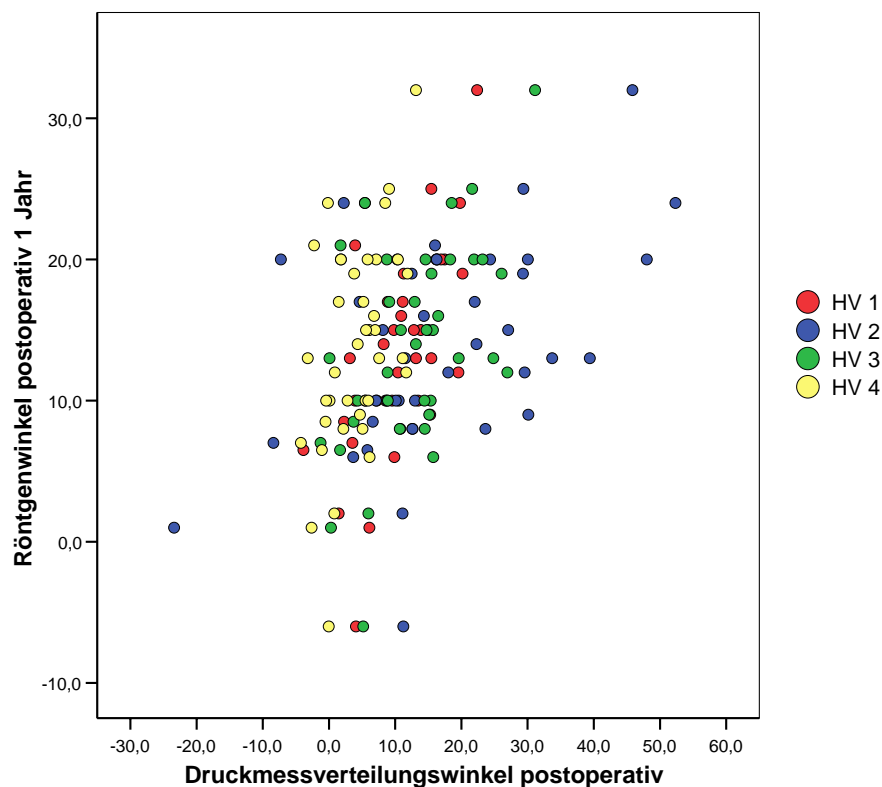


Abbildung 38: Gegenüberstellung der Winkel postoperativ

Gleich wie im vorigen Unterkapitel werden nun die vier dynamischen Winkel mit dem Röntgen-Winkel nach der Operation verglichen. Auch hier kommt der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest zur Überprüfung der Normalverteilung zur Anwendung. Das Ergebnis in Tabelle 5 zeigt, dass die Daten nicht signifikant von einer Normalverteilung abweichen. Daher kommt die Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson zum Einsatz.

Tabelle 5: Überprüfung der Normalverteilung postoperativ

	post RÖ-Winkel 1 Jahr	post HV 1	post HV 2	post HV 3	post HV 4
Kolmogorov-Smirnov-Z	,499	,553	,619	,565	,601
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,964	,920	,838	,907	,863

Das aufgelistete Ergebnis in Tabelle 6 zeigt ein ähnliches Resultat zum präoperativen Vergleich. Auch hier bestehen signifikante Zusammenhänge, diese sind jedoch wiederum nur als mittelmäßig zu interpretieren.

Tabelle 6: Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson: RÖ-Winkel zu HV 1, HV 2, HV 3, HV 4 postoperativ

		post RÖ-Winkel 1 Jahr	post HV 1	post HV 2	post HV 3	post HV 4
post RÖ-Winkel 1 Jahr	Korrelation nach Pearson	1	,553(**)	,525(**)	,544(**)	,504(**)
	Signifikanz (2-seitig)		,000	,001	,000	,001
	N	43	40	40	40	41

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

### 6.2.3 Veränderungsspezifische Korrelation zwischen dem radiologischen und dynamischen Hallux valgus Winkel

In diesem Unterkapitel werden nun die Veränderungsprozesse der einzelnen Winkel miteinander in Beziehung gesetzt und in unten angeführter Abbildung 39 dargestellt. Um diese Berechnungen durchführen zu können, wurden im Vorfeld neue Variablen errechnet, welche die jeweilige Veränderung der einzelnen Winkel ausdrückt.

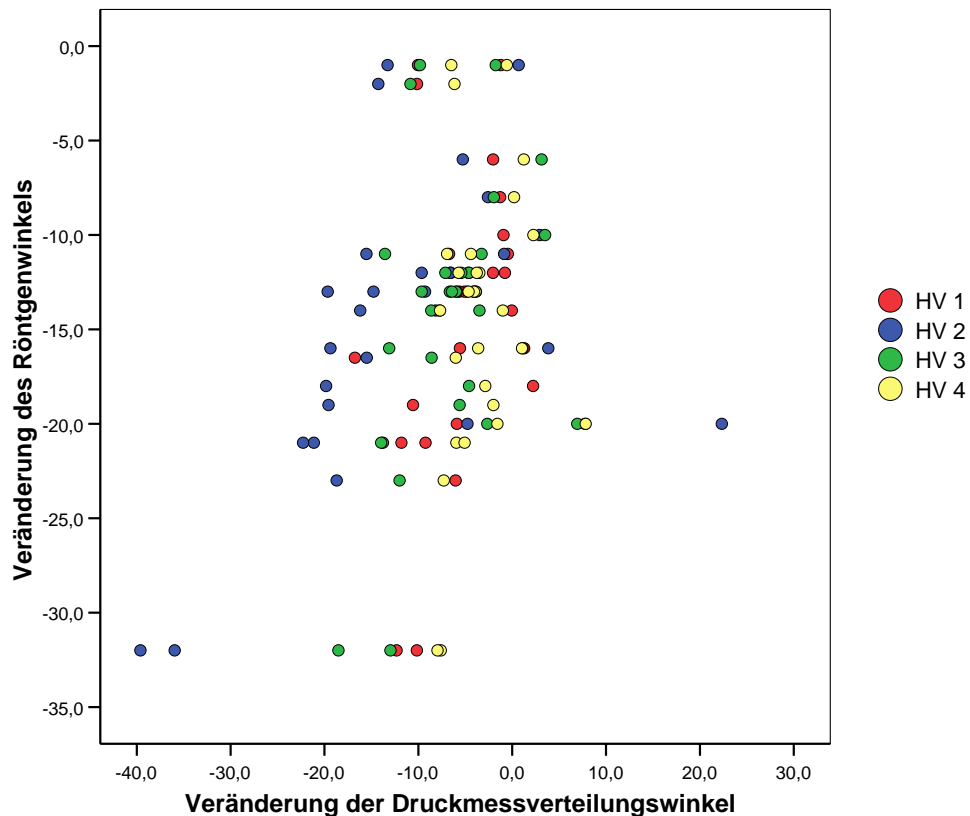


Abbildung 39: Gegenüberstellung der veränderten Winkeln

An diesem Punkt ist anzumerken, dass bei der neuen Variable die neuen minus die alten Werte gerechnet wurde und somit negative Zahlen eine Verbesserung bedeuten und andererseits positive Zahlen eine Verschlechterung beschreiben. Auch diese neu definierten Variablen wurden auf ihre Normalverteilung mittels des Anpassungstests überprüft. Das Ergebnis (siehe Tabelle 7) zeigt eine nicht signifikante Abweichung der Daten von einer Normalverteilung bei der Veränderung des röntgenologischen, des HV 2, HV 3 und HV 4 Winkels. Beim ersten dynamischen Winkel (Veränderung des HV 1 Winkels) kann nicht von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen werden.

Tabelle 7: Überprüfung der Normalverteilung bezogen auf die Winkelveränderung

	Veränderung des RÖ-Winkels	Veränderung des HV 1 Winkels	Veränderung des HV 2 Winkels	Veränderung des HV 3 Winkels	Veränderung des HV 4 Winkels
Kolmogorov-Smirnov-Z	,794	1,661	,834	,595	,812
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,553	<b>,008</b>	,490	,870	,524

Aufgrund dieser Tatsache kommen in diesem Fall erneut die Rangkorrelation nach Spearman und die Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson zur Anwendung. Das Ergebnis der erst genannten Korrelation ist in Tabelle 8 aufgelistet, das zweite folgt im Anschluss (Tabelle 9).

Tabelle 8: Rangkorrelation nach Spearman: Veränderung RÖ-Winkel zu HV 1

			Veränderung des RÖ-Winkels (post - prä)	Veränderung des HV 1 Winkels (post - prä)
Spearman-Rho	Veränderung des RÖ-Winkels (post - prä)	Korrelationskoeffizient	1,000	,270
		Sig. (2-seitig)	.	<b>,134</b>
		N	39	32

Dieses Resultat zeigt keinen signifikanten Zusammenhang, da das Ergebnis wesentlich größer als 5 % ist. Daher wird in diesem Fall H0 - Es gibt keinen Zusammenhang zwischen der Veränderung des RÖ-Winkels zum HV 1 Winkel – angenommen und die Alternativhypothese mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % verworfen.

Tabelle 9: Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson: Veränderung RÖ-Winkel zu HV 2, HV 3, HV 4

		Veränderung des RÖ-Winkels (post - prä)	Veränderung des HV 2 Winkels (post - prä)	Veränderung des HV 3 Winkels (post - prä)	Veränderung des HV 4 Winkels (post - prä)
Veränderung des RÖ-Winkels (nacher - vorher)	Korrelation nach Pearson	1	,287	<b>,379(*)</b>	<b>,372(*)</b>
	Signifikanz (2-seitig)		<b>,111</b>	<b>,042</b>	<b>,028</b>
	N	39	32	29	35

\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

In dieser Aufstellung ist ebenfalls ein nicht signifikantes Ergebnis ersichtlich. Die Veränderung des RÖ-Winkels, verglichen mit der Veränderung des HV 2 Winkels, weist keinen Zusammenhang auf. Bei der Gegenüberstellung des RÖ-Winkels mit dem HV 3 und HV 4 Winkel auf der anderen Seite besteht mit 0,379 und 0,372 ein geringer, signifikanter Zusammenhang.

## 6.2.4 Korrelation im Bezug auf die Verbesserung zwischen dem radiologischen und dynamischen Hallux valgus Winkel sowie den Variablen des Fragebogens

Das abschließende Kapitel beschäftigt sich nun mit der Gegenüberstellung der radiologischen und dynamischen Winkelverbesserungen bzw. –verringierungen mit den einzelnen Variablen des Fragebogens. Um von Verbesserungen sprechen zu können, wurde vorweg untersucht, ob signifikante Unterschiede bei den einzelnen Winkeln vor und ein Jahr nach der Operation gegeben sind bzw. ob sich die Ergebnisse des Fragebogens verbessert haben. Im Anschluss wurden alle Winkel (röntgenologisch und dynamisch) den Ergebnissen des Fragebogens sowohl prä- als auch postoperativ gegenübergestellt. Zuerst soll nun auf die einzelnen Unterschiedsberechnungen vor und nach der Operation genauer eingegangen werden.

*Unterschiede bei den röntgenologischen Winkeln vor und nach der Operation:* Insgesamt sollen bei diesem Unterpunkt drei Winkel miteinander verglichen werden. Der Röntgen-Winkel vor der Operation, einen Tag nach und ein Jahr nach dem medizinischen Eingriff. Da es sich in diesem Fall um abhängige Variablen handelt, ist mit einer Varianzanalyse mit Messwiederholung zu rechnen. Eine diesbezügliche Voraussetzung ist die Überprüfung der Normalverteilung. Diese wird in der unten angeführten Tabelle 10 bestätigt, sodass das ob genannte Verfahren angewendet werden darf.

Tabelle 10: Überprüfung der Normalverteilung bei den röntgenologischen Winkeln

	prä RÖ- Winkel	post RÖ- Winkel 1 Tag	post RÖ- Winkel 1 Jahr
N	49	50	43
Kolmogorov-Smirnov-Z	,801	,697	,499
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,542	,716	,964

Eine weitere Voraussetzung für die Anwendung des genannten Verfahrens ist die Varianzhomogenität, welche mit dem folgenden Ergebnis, siehe Tabelle 11, überprüft wird. Das Resultat von 0,291 ist größer als 5 %, daher kann auch die Homogenität der Varianzen angenommen werden.

Tabelle 11: Überprüfung der Varianzhomogenität mit dem Mauchly-Test

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approximiertes Chi-Quadrat	df	Signifikanz	Epsilon <sup>a</sup>		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Untergrenze
Faktor1	,934	2,469	2	,291	,938	,986	,500

Die nächste Tabelle 12 gibt Auskunft darüber, ob es Unterschiede zwischen den drei Röntgen-Winkel gibt. Aufgrund des vorangegangenen Tests ist in diesem Fall die Zeile „Sphärizität angenommen“ zu interpretieren. Hierbei handelt es sich um ein signifikantes Ergebnis, was besagt, dass es Unterschiede zwischen den drei röntgenologischen Winkeln gibt.

Tabelle 12: Test der Innersubjekteffekte

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Faktor1	Sphärizität angenommen	9938,978	2	4969,489	114,721	,000
	Greenhouse-Geisser	9938,978	1,876	5298,885	114,721	,000
	Huynh-Feldt	9938,978	1,972	5039,292	114,721	,000
	Untergrenze	9938,978	1,000	9938,978	114,721	,000
Fehler(Faktor1)	Sphärizität angenommen	3205,522	74	43,318		
	Greenhouse-Geisser	3205,522	69,400	46,189		
	Huynh-Feldt	3205,522	72,975	43,926		
	Untergrenze	3205,522	37,000	86,636		

Wo genau die Unterschiede liegen, wird in der nächsten Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: Paarweiser Vergleich der drei Röntgenwinkel

(I) Faktor1	(J) Faktor1	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz <sup>a</sup>	95% Konfidenzintervall für die Differenz <sup>a</sup>	
					Untergrenze	Obergrenze
1	2	22,342*	1,625	,000	18,267	26,417
	3	15,408*	1,581	,000	11,442	19,373
2	1	-22,342*	1,625	,000	-26,417	-18,267
	3	-6,934*	1,303	,000	-10,202	-3,666
3	1	-15,408*	1,581	,000	-19,373	-11,442
	2	6,934*	1,303	,000	3,666	10,202

Basiert auf den geschätzten Randmitteln

\*. Die mittlere Differenz ist auf dem Niveau ,05 signifikant

a. Anpassung für Mehrfachvergleiche: Bonferroni.

Aus dieser Aufstellung ist abzulesen, dass es bei allen drei Winkeln signifikante Unterschiede gibt. Um das Ergebnis genauer interpretieren zu können, werden nun die Mittelwerte der einzelnen Winkel herangezogen, siehe Tabelle 14.

Tabelle 14: Mittelwerte der röntgenologischen Winkel

	Mittelwert	Standardabweichung	N
prä RÖ-Winkel	29,684	10,0837	38
post RÖ-Winkel 1 Tag	7,342	7,5633	38
post RÖ-Winkel 1 Jahr	14,276	7,7762	38

Diese Tabelle gibt Aufschluss darüber, dass sich der RÖ-Winkel 1 Tag nach der Operation signifikant zum RÖ-Winkel vor der Operation verbessert hat, der RÖ-Winkel 1 Jahr nach der Operation sich allerdings wieder signifikant verschlechtert hat.

*Unterschiede bei den dynamischen Winkeln vor und nach der Operation:* Da es sich hierbei um intervallskalierte Daten handelt, ist für eine Weiterberechnung vorerst die Normalverteilung zu überprüfen. Der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest gibt uns in den Tabellen 15 und 16 die Auskunft, dass bis auf den HV 1 Winkel präoperativ die weiteren Winkel normalverteilt sind.

Tabelle 15: Überprüfung der Normalverteilung bei den dynamischen Winkeln präoperativ

	prä HV 1	prä HV 2	prä HV 3	prä HV 4
Kolmogorov-Smirnov-Z	1,700	,759	,583	,410
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	<b>,006</b>	,612	,886	,996

Tabelle 16: Überprüfung der Normalverteilung bei den dynamischen Winkeln postoperativ

	post HV 1	post HV 2	post HV 3	post HV 4
Kolmogorov-Smirnov-Z	,553	,619	,565	,601
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,920	,838	,907	,863

Für die Berechnung von Unterschieden bei abhängigen, intervallskalierten und normalverteilten Daten kommt als weiteres Verfahren der T-Test für abhängige Stichproben zum Einsatz. Als Ersatzverfahren gilt der Wilcoxon-Test. Die diesbezüglichen Ergebnisse sind in den Tabellen 17 und 18 aufgelistet.

Tabelle 17: Unterschiedsberechnung HV 1

	post HV 1 - prä HV 1
Z	-3,459(a)
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	<b>,001</b>

a Basiert auf positiven Rängen

Tabelle 18: Unterschiedsberechnungen HV 2, HV 3 und HV 4

		Gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2-seitig)
		Mittelwert	Std.abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Untere	Obere			
Paar 1	prä HV 2 - post HV 2	9,560	14,55965	2,39359	4,70610	14,41496	3,994	36	<b>,000</b>
Paar 2	prä HV 3 - post HV 3	6,086	5,59968	,96034	4,13308	8,04073	6,338	33	<b>,000</b>
Paar 3	prä HV 4 - post HV 4	3,467	3,80619	,60181	2,24997	4,68453	5,761	39	<b>,000</b>

Alle Ergebnisse sind mit 0,000 bzw. 0,001 höchst signifikant, sodass man von einer Verbesserung der dynamischen Winkel sprechen kann, da sich die Mittelwerte alle reduziert haben.



*Unterschiede bei den Variablen des Fragebogens:* Die Unterschiedsberechnung der Fragebögen gliedert sich in zwei Teile. Der erste Teil umfasst die ordinalskalierten Daten, der zweite Teil die intervallskalierten. Zwei Variablen des Fragebogens werden in die Auswertung nicht miteinbezogen (IP-Beweglichkeit, MTP-IP Stabilität), die Veränderungen sind nicht aussagekräftig. Die Metatarsalgie fällt ebenfalls aus der Bewertung, da es sich dabei um eine nominalskalierte Variable handelt. Für die Berechnung von Unterschieden bei abhängiger Ordinalskalierung wird der Wilcoxon-Test angewendet, siehe Tabelle 19. Bis auf die Variable MTP Beweglichkeit (diese hat sich aufgrund des Mittelwertes kaum verändert) gibt es bei allen übrigen Variablen einen signifikanten Unterschied von vorher zu nachher.

Tabelle 19: Unterschiedsberechnung der ordinalskalierten Variablen des Fragebogens

	Schmerzen	Aktivität	Schuhwerk	max Gehstrecke	Bodenunebenheiten	MTP Beweglichkeit	Schwielen	Kosmetik
Z	-4,57 (a)	-4,588 (a)	-4,379 (a)	-2,521 (a)	-3,445 (a)	-,775 (a)	-3,962 (a)	-4,710 (a)
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,012	,001	<b>,439</b>	,000	,000

a Basiert auf positiven Rängen.

Im weiteren Schritt werden nun die intervallskalierten Daten des Fragebogens dargestellt. Die diesbezügliche Überprüfung der Normalverteilung zeigt (siehe Tabelle 20 und 21), dass präoperativ bei der Plantarflexion im Großzehengrundgelenk und postoperativ beim Schmerz nach VAS keine Normalverteilung angenommen werden kann.

Tabelle 20: Überprüfung der Normalverteilung bei den Fragebogenvariablen präoperativ

	prä Beweglichkeit des GZGG Dorsalextension	prä Beweglichkeit des GZGG Plantarflexion	prä Schmerz nach VAS	prä Zufriedenheit nach VAS
Kolmogorov-Smirnov-Z	1,167	1,807	1,034	1,106
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,131	<b>,003</b>	,235	,173

Tabelle 21: Überprüfung der Normalverteilung bei den Fragebogenvariablen postoperativ

	post Beweglichkeit des GZGG Dorsalextension	post Beweglichkeit des GZGG Plantarflexion	post Schmerzen nach VAS	post Zufriedenheit nach VAS
Kolmogorov-Smirnov-Z	,854	1,241	1,487	1,138
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,460	,092	<b>,024</b>	,150

Für die nicht normalverteilten Daten kommt aufgrund der Resultate wiederum der Wilcoxon-Test und für die normalverteilten Daten der T-Test für abhängige Stichproben zur Anwendung, siehe unten angeführte Tabellen 22 und 23.

Tabelle 22: Unterschiedsberechnung mit Hilfe des Ersatzverfahrens

	Beweglichkeit des GZGG Plantarflexion	Schmerzen nach VAS
Z	-5,338(a)	-3,526(a)
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	<b>,000</b>	<b>,000</b>

Tabelle 23: Unterschiedsberechnung der intervallskalierten Variablen des Fragebogens

	Gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2-seitig)
	Mittelwert	Std.abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz				
				Untere	Obere			
Paar 1 Beweglichkeit des GZGG Dorsalexten	-9,214	16,706	2,578	-14,420	-4,008	-3,574	41	<b>,001</b>
Paar 2 Zufriedenheit nach VAS	-3,2227	4,4401	,9466	-5,1913	-1,2541	-3,404	21	<b>,003</b>

Die Ergebnisse der Variablen Plantarflexion im Großzehengrundgelenk, Schmerzen nach VAS, Dorsalextension im Großzehengrundgelenk und die Zufriedenheit nach VAS spiegeln ebenfalls hoch signifikante Unterschiede im Vergleich vor und nach der Operation wieder.

### 6.2.4.1 Korrelation aller Veränderungsvariablen

Abschließend sollen nun, wie am Anfang dieses Kapitels genannt wurde, alle relevanten Variablen die Veränderung betreffend gegenübergestellt werden. Zu diesen Variablen zählen der veränderte röntgenologische Winkel, die unterschiedlichen vier dynamischen Winkel der Pedographie sowie die einzelnen Veränderungen der Variablen den Fragebogen betreffend. Da in diesem Zusammenhang intervallskalierte Daten mit ordinalskalierten Daten verglichen werden, wird mit der Rangkorrelation nach Spearman gerechnet. Die diesbezüglichen Ergebnisse sind in der nächsten Tabelle 24 abzulesen.

Tabelle 24: Zusammenhänge aller Veränderungsvariablen

		Schmerzen	Aktivität	Schuhwerk	Max. Gehstrecke	Bodenun- ebenheiten	Schwielen	Kosmetik	Dorsalflex GZGG	Plantarflex GZGG	VAS Schmerz	VAS Zufrieden- heit
RÖ Winkel	Korrelations- koeffizient	-,088	-,241	<b>,465 (**)</b>	,118	-,327	-,265	-,055	,177	,024	<b>,397 (*)</b>	,153
	Sig. (2-seitig)	,615	,164	<b>,004</b>	,491	,051	,137	,799	,303	,891	<b>,030</b>	,509
	N	35	35	36	36	36	33	24	36	36	30	21
HV 1 Winkel	Korrelations- koeffizient	-,205	-,065	- ,042	,104	-,016	,159	,268	-,099	,298	- ,198	-,071
	Sig.(2-seitig)	,231	,706	,805	,540	,925	,368	,228	,561	,073	,323	,786
	N	36	36	37	37	37	34	22	37	37	27	17
HV 2 Winkel	Korrelations- koeffizient	-,050	-,217	- ,030	,007	-,064	,026	,328	,093	-,028	- ,263	-,215
	Sig.(2-seitig)	,774	,210	,863	,969	,710	,886	,137	,588	,873	,194	,407
	N	35	35	36	36	36	33	22	36	36	26	17
HV 3 Winkel	Korrelations- koeffizient	-,193	-,077	- ,161	,022	-,165	,093	,040	,090	,077	- ,171	-,274
	Sig.(2-seitig)	,289	,676	,370	,905	,359	,626	,871	,619	,668	,426	,343
	N	32	32	33	33	33	30	19	33	33	24	14
HV 4 Winkel	Korrelations- koeffizient	-,119	,033	- ,173	-,006	-,206	,049	,069	,256	-,025	- ,158	,206
	Sig.(2-seitig)	,490	,850	,307	,973	,222	,784	,755	,126	,884	,421	,412
	N	36	36	37	37	37	34	23	37	37	28	18

\* Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

\*\* Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

Bei diesen Korrelationen konnte lediglich ein geringer signifikanter Zusammenhang ( $r = 0,465$  und  $r = 0,397$ ) beim RÖ-Winkel zum Schuhwerk sowie zum Schmerz nach VAS festgestellt werden. Alle übrigen Korrelationen sind nicht signifikant und daher nicht aussagekräftig, um interpretiert zu werden. An dieser Stelle wird abschließend festgehalten, dass aufgrund der wenigen Ausprägungen der Fragebogenvariablen derartige Ergebnisse nicht überraschend sind.

## 6.2.5 Multiple Regression

Im letzten Unterkapitel der Ergebnisse soll nun anhand der Inferenzstatistik untersucht werden, ob man aufgrund der Druckverteilungsmessungswinkel auf den röntgenologischen Winkel schließen kann. In den nachfolgenden Tabellen 25 und 26 sind die diesbezüglichen Ergebnisse illustriert.

Tabelle 25: Multiple Regression präoperativ

	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz	Kollinearitätsstatistik	
	B	Standardfehler	Beta			Toleranz	VIF
(Konstante)	14,682	4,268		3,440	,002		
prä HV 1	,958	,456	,582	2,100	,043	<b>,225</b>	4,435
prä HV 2	,087	,169	,132	,516	,609	<b>,264</b>	3,791
prä HV 3	-,492	,516	-,439	-,954	,346	<b>,082</b>	12,198
prä HV 4	,746	,742	,373	1,004	,322	<b>,126</b>	7,947

Tabelle 26: Multiple Regression postoperativ

	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz	Kollinearitätsstatistik	
	B	Standardfehler	Beta			Toleranz	VIF
(Konstante)	6,207	4,201		1,477	,149		
post HV 1	,299	,369	,247	,809	,424	<b>,215</b>	4,652
post HV 2	,099	,104	,209	,956	,346	<b>,420</b>	2,379
post HV 3	,324	,783	,358	,414	,682	<b>,027</b>	37,207
post HV 4	-,337	1,292	-,210	-,261	,796	<b>,031</b>	32,289

Die Toleranzwerte sowohl prä- als auch postoperativ sagen aus, dass bei dieser Untersuchung eine Multikollinearität besteht, da die Werte bei allen vier Winkeln kleiner als 0,5 sind. Aus diesem Grund sind die Voraussetzungen nicht gegeben und man kann in diesem Fall nicht von dynamischen Winkeln auf den Röntgenwinkel schließen.

## 7 Interpretation

Im Kapitel 6 wurden die Ergebnisse im ersten Teil grafisch dargestellt und im Weiteren auch deskriptiv beschrieben. Grundsätzlich wurden vier Hypothesen untersucht, welche sich auf drei Kernpunkte stützten. Diese Punkte setzten sich aus der Röntgenuntersuchung, der Pedographie und dem medizinischen Erscheinungsbild zusammen. Die zwei erst genannten Bereiche wurden präoperativ, ein Jahr postoperativ und auch in ihrem Veränderungsverhalten auf Zusammenhänge untersucht. Abschließend wurden die Verbesserungen der Winkel (Röntgen- als auch Druckverteilungsmessungswinkel) mit den Variablen des Fragebogens (medizinisches Erscheinungsbild) auf Zusammenhänge überprüft.

Die Auswertung des medizinischen Erscheinungsbildes - welches im Zuge von zwei Fragebogenerhebungen ermittelt wurde - ergab, dass sich die Mittelwerte aller relevanten Variablen von präoperativ zu postoperativ mit der Ausnahme der MTP Beweglichkeit wesentlich verändert haben, siehe Tabelle 27.

Tabelle 27: Mittelwerte des medizinischen Erscheinungsbildes

<b>Variable</b>	<b>präoperativ</b>	<b>postoperativ</b>
Schmerzen	2,1	0,6
Aktivitätseinschränkung	1,9	0,4
Schuhwerk	0,9	0,4
Max. Gehstrecke	0,3	0,0
Bodenebenheiten	0,8	0,3
MTP Beweglichkeit	0,7	0,7
Schwielen	0,5	0,1
Kosmetisches Erscheinungsbild	2,0	0,4
GZGG Dorsalflexion	27,3	34,8
GZGG Plantarflexion	36,9	16,9
VAS Schmerz	5,5	2,4
VAS Zufriedenheit	2,4	5,0

Bis auf die Variablen der Beweglichkeit im Großzehengrundgelenk (Dorsal-, Plantarflexion), hier hat sich das Ergebnis umgekehrt, ist bei den restlichen Variablen eine Verbesserung des medizinischen Erscheinungsbildes eingetreten. So konnte beispielsweise das Schmerzempfinden auf einer vierstufigen Ordinalskalierung von 2,1 (= mäßiger, täglicher Schmerz) auf 0,6 (= kein bzw. geringer Schmerz) reduziert werden. Auch bei der visuellen Analogskala (VAS) wurde beim Schmerzempfinden eine Verbesserung von 5,5 auf 2,4 erzielt.

Da es auch bei der Zufriedenheit zu einer Verbesserung bzw. einer Umkehrung verglichen mit dem Schmerzempfinden nach VAS kam, kann zusammengefasst von einer guten Korrektur des medizinischen Erscheinungsbildes ausgegangen werden.

Ähnliches Ergebnis ist auch bei der Analyse der Röntgenwinkel zu erkennen. In Tabelle 28 sind die Mittelwerte der einzelnen Winkel vor, ein bis zwei Tage nach der Operation und ein Jahr postoperativ noch einmal aufgelistet.

Tabelle 28: Mittelwerte der Röntgenwinkel

	<b>präoperativ</b>	<b>postoperativ OP</b>	<b>postoperativ 1 Jahr</b>
Röntgenwinkel	29,57°	6,82°	14,07°

Rehm und Fecher (2004) illustrierten vergleichende Resultate in ihrem Beitrag. Insgesamt wurden 52 Personen (Durchschnittsalter 58 Jahre) im Schnitt 2 ¼ Jahre nach einer Operation nach Austin, auch unter Chevron-Osteotomie bekannt, nachuntersucht. Es wurde nachgewiesen, dass der Hallux valgus Winkel von präoperativ durchschnittlich 29,87° auf postoperativ 12,71° korrigiert wurde. Dieses Resultat entspricht annähernd den Ergebnissen der hiesigen Untersuchung. Schneider et al. (1998) sind gleicher Meinung. Sie führten ebenfalls Nachuntersuchungen nach Chevron-Osteotomien durch. Es wurden insgesamt 20 Patienten untersucht. Bei dieser Studie konnte der Hallux valgus Winkel von präoperativ durchschnittlich 27,3° auf postoperativ 10,0° verkleinert werden. Leider ist in dieser Studie nicht angegeben, in welchem Zeitraum die Nachuntersuchung durchgeführt wurde. Abschließend kann bezüglich der radiologischen Winkel zusammengefasst angemerkt werden, dass sich die postoperativen Ergebnisse in dieser Studie ausgesprochen gut darstellen.

Eine Analyse der vier errechneten Hallux valgus Winkel mit Hilfe einer Druckverteilungsmessungssoftware zeigt folgende Werte, welche in Tabelle 29 angeführt sind.

Tabelle 29: Mittelwerte der Druckverteilungsmessungswinkel

<b>Druckverteilungsmessungswinkel</b>	<b>präoperativ</b>	<b>postoperativ</b>
HV 1	14,22°	10,50°
HV 2	29,21°	18,14°
HV 3	18,89°	12,98°
HV 4	7,35°	3,85°

Es ist erkennbar, dass sich die errechneten Winkel in der Pedographie nicht im gleichen Ausmaß wie der Röntgenwinkel verbessert haben. Bei diesem konnte eine Verringerung um die Hälfte erzielt werden.

Bei der Druckverteilungsmessung im Vergleich verringerten sich die Werte lediglich im Durchschnitt um ein Drittel. Außer beim vierten Hallux valgus Winkel, dieser verringerte sich - wie der Röntgenwinkel - um die Hälfte. In diesem Zusammenhang können keine Vergleichswerte aus der Literatur angeführt werden, da es keine vergleichenden Studien zu dieser Thematik gibt.

Das Problem der Ganggeschwindigkeit in der Pedographie wurde in den Abbildungen 32 bis 36 dargestellt. Ein Vergleich mehrerer Proband(inn)en im Bezug auf unterschiedliche Ganggeschwindigkeiten und dynamische Winkel ist wahrlich sehr schwierig. Daher und aufgrund der Unübersichtlichkeit wurde auch auf eine Gesamtdarstellung aller Werte verzichtet. Die Abbildungen bestätigen die oftmals in der Literatur genannten Probleme mit der Ganggeschwindigkeit bei Druckverteilungsanalysen.

Es folgen nun die Interpretationen der Ergebnisse die Fragestellungen betreffend. Die erste Fragestellung in dieser Diplomarbeit lautete:

*Gibt es einen präoperativen Zusammenhang zwischen dem radiologischen und dynamischen (funktionellen) Hallux valgus Winkel?*

Diesbezügliche Resultate sind im Kapitel 6.2.1 (Präoperative Korrelation zwischen dem radiologischen und dynamischen Hallux valgus Winkel) angeführt. Wie schon in Abbildung 37 ersichtlich ist, ist ein Zusammenhang der genannten Faktoren zu erkennen. Es ist zu sehen, dass je größer der radiologische Winkel, desto größer auch die dynamischen Winkel der Druckverteilungsmessung sind. Die statistische Analyse ergab, dass es hohe Signifikanzen zwischen den statischen und dynamischen Winkeln präoperativ gibt. Ein Blick auf den Korrelationskoeffizienten zeigt jedoch, dass es sich maximal um mittlere Korrelationen handelt. Aus diesem Grund ist das Ergebnis (Tabelle 30) wenig aussagekräftig, da man erst ab einem Korrelationskoeffizienten (r) von 0,7 von einem hohen Zusammenhang spricht (Zöfel, 2002).

Tabelle 30: präoperative Zusammenhänge

		<b>präoperativ</b>			
		<b>HV 1</b>	<b>HV 2</b>	<b>HV 3</b>	<b>HV 4</b>
<b>präoperativ RÖ-Winkel</b>	sign. (2-seitig)	0,000	0,002	0,001	0,000
	r	0,621	0,453	0,514	0,569

In Kapitel 6.2.2 (Postoperative Korrelation zwischen dem radiologischen und dynamischen Hallux valgus Winkel) wird die zweite Fragestellung überprüft. Sie lautet:

*Gibt es einen postoperativen Zusammenhang zwischen dem radiologischen und dynamischen (funktionellen) Hallux valgus Winkel?*

Die Ergebnisse der inferenzstatistischen Berechnung dieser Fragestellung sind ähnlich dem präoperativen Vergleich. In Abbildung 38 ist zu erkennen, dass ein Zusammenhang zwischen den gemessenen und errechneten Winkeln besteht. In der nachfolgenden Tabelle 31 sind die Ergebnisse noch einmal kurz angeführt.

Tabelle 31: postoperative Zusammenhänge

		<b>postoperativ</b>			
		<b>HV 1</b>	<b>HV 2</b>	<b>HV 3</b>	<b>HV 4</b>
<b>postoperativ RÖ-Winkel</b>	sign. (2-seitig)	0,000	0,001	0,000	0,001
	r	0,553	0,525	0,544	0,504

Auch diese Ergebnisse sind alle hoch signifikant, da alle Werte kleiner als 5 % sind und die Ergebnisse mit einem Wahrscheinlichkeitsniveau von 95 % abgesichert sind. Daher darf angenommen werden, dass es einen Zusammenhang gibt. Die Resultate sind jedoch aufgrund der Stärke des Zusammenhangs (r) wiederum nur als mittelmäßig anzusehen und besitzen daher wenig Aussagekraft. Im Weiteren wurde im Kapitel 6.2.3 (Veränderungsspezifische Korrelation zwischen dem radiologischen und dynamischen Hallux valgus Winkel) die Veränderung der Winkel vor und nach der Operation miteinander auf Zusammenhänge überprüft. Die diesbezügliche Fragestellung hieß:

*Gibt es einen Zusammenhang im Veränderungsprozess (vorher/nachher) zwischen dem radiologischen und dynamischen (funktionellen) Hallux valgus Winkel?*

Ähnlich wie bei den vorigen Fragestellungen konnten auch hier keine hohen Zusammenhänge bestätigt werden. Legt man ein Augenmerk auf die durchschnittliche Veränderung der einzelnen Winkel, siehe Tabelle 32, ist festzustellen, dass der röntgenologische Winkel die größte Reduktion aufweist, gefolgt von den Winkeln HV 4 und HV 2.



Tabelle 32: durchschnittliche Winkelveränderung in Prozent

<b>Winkel</b>	<b>durchschnittliche Veränderung</b>
Röntgenwinkel	52,4 %
HV 1	26,2 %
HV 2	37,9 %
HV 3	31,3 %
HV 4	47,6 %

Das statistische Ergebnis zeigt folgendes Bild. Wie in Tabelle 33 dargestellt, ergibt sich bei dieser Fragestellung bei der röntgenologischen Winkelveränderung gegenüber den dynamischen Winkelveränderungen HV 3 und HV 4 ein signifikantes Ergebnis. Aufgrund der Mittelwerte war jedoch darauf zu schließen, dass, wenn ein Zusammenhang besteht, dieser zwischen dem Röntgen-Winkel und HV 4 bzw. HV 2 zu vermuten ist. Nichtsdestotrotz ist auch bei dieser Korrelation lediglich ein geringer Zusammenhang ( $r=0,379$  und  $r=0,372$ ) anzunehmen, obwohl präoperativ der Korrelationskoeffizient im Durchschnitt 0,539 und postoperativ 0,532 betrug.

Tabelle 33: veränderungsspezifische Zusammenhänge

<b>Veränderung</b>		<b>Veränderung</b>			
		<b>HV 1</b>	<b>HV 2</b>	<b>HV 3</b>	<b>HV 4</b>
<b>RÖ-Winkel</b>	sign. (2-seitig)	0,134	0,111	0,042	0,028
	r	0,270	0,287	0,379	0,372

Abschließend wurden im Kapitel 6.2.4 (Korrelation im Bezug auf die Verbesserung zwischen dem radiologischen und dynamischen Hallux valgus Winkel sowie den Variablen des Fragebogens) vorerst die Unterschiede aller Variablen vor und nach der Operation berechnet um in weiterer Folge diese Fragestellung beantworten zu können:

*Gibt es Zusammenhänge bezüglich der Verbesserung zwischen dem radiologischen und dynamischen (funktionellen) Hallux valgus Winkel sowie den einzelnen Variablen des Fragebogens?*

Im Anschluss wurden alle Veränderungsvariablen auf Zusammenhänge überprüft, siehe Tabelle 24. Auch bei dieser statistischen Analyse konnten keine aussagekräftigen Ergebnisse erzielt werden, was aufgrund der wenigen Ausprägungen der Fragebogenvariablen nicht überraschend ist. Lediglich beim Röntgen-Winkel zum Schuhwerk und zum Schmerz nach VAS waren die Ergebnisse signifikant. Was besagt, dass, wenn der röntgenologische Winkel operativ reduziert wird, sich auch das Schuhwerk verbessert und der Schmerz nach der visuellen analogen Skala ebenfalls gelindert wird. Der Korrelationskoeffizient ist jedoch mit  $r=0,465$  und  $r=0,397$  gering. Daher ist auch dieses Ergebnis nicht repräsentativ.

## 8 Diskussion und Resümee

Intention dieser Studie war es, den bisher noch nicht untersuchten Zusammenhang zwischen Hallux valgus Winkel und Veränderungen in der Pedographie herzustellen. Mit anderen Worten wurde untersucht, ob ein größerer bzw. kleinerer Hallux valgus Winkel die Druckverteilung an der Fußsohle sowohl prä- als auch ein Jahr postoperativ verändert.

Laut Milani et al. (1995) tritt der Hallux valgus zu 90 % bei Frauen auf. Bei dieser Untersuchung mit insgesamt 34 Testpersonen nahmen zwei Männer teil. Dies entspricht 17 %. Daher wurden die gesamten Daten für Frauen und Männer gemeinsam ausgewertet. Auch bezüglich ein- oder beidseitiger Operation zum selben Zeitpunkt gibt es unterschiedliche Meinungen. Laut Brinkmann (1986) wird eine beidseitige Operation zum Teil aufgrund der langen Arbeitsunfähigkeitszeiten abgelehnt. Milani und Retzlaff (1995) untersuchten daher in ihrer Studie, ob eine beidfüßige Operation das Gangbild nachhaltig beeinflusst. Das Ergebnis deren Untersuchung zeigte, dass Personen mit beidfüßiger Operation den Hallux stärker belasten. Hierbei handelte es sich jedoch nicht um einen signifikanten Unterschied in der Halluxbelastung, wonach in der vorliegenden Untersuchung beide Kollektive gemeinsam betrachtet wurden. Im Zuge einer Diskussion wurde auch die Problematik einer eventuellen Gewichtszunahme genannt. Dies konnte jedoch mit der Begründung ausgeschlossen werden, dass sowohl die Röntgenaufnahme als auch die Druckverteilungsmessung am selben Tag stattfanden und eine mögliche Gewichtszunahme beide Verfahren beeinflussen würde.

Im Laufe der Studie kristallisierten sich zwei wesentliche Problembereiche heraus. Einerseits die Ganggeschwindigkeit und im Weiteren die Schwierigkeiten der Winkelbestimmungen. Rosenbaum und Becker (1997, S. 10) bringen es auf den Punkt: „A prescribed walking speed will help to compare the pressure patterns of different subjects but will most likely prevent the generation of a natural walking pattern for all subjects.“ An dieser Stelle ist auch darauf hinzuweisen, dass im Zuge eines schmerzbedingten Abrollverhaltens vor der Operation, die selbst gewählte normale Ganggeschwindigkeit mit hoher Wahrscheinlichkeit langsamer war, als ein Jahr nach der Operation.

Welche Auswirkungen Geschwindigkeitsveränderungen bei dynamischen Hallux valgus Winkeln mit sich bringen, wurde bei den grafischen Auswertungen in Kapitel 6.1.3.1 (Geschwindigkeitsbedingte Winkelveränderungen) sichtbar. Dies soll gleichzeitig aber auch Anreiz für zukünftige Untersuchungen in diesem Bereich geben.

Nachfolgendes Zitat von Resch und seinem Team bringen die Problematik der Winkelbestimmung auf den Punkt.

„It is a problem that the angles we are generally measuring in the evaluation of Hallux valgus are so small. Even quite small errors of measurement in the range of 2° to 3° become more significant when angular changes in the same range are evaluated” (Resch, Ryd, Stenström, Johnsson & Reynisson, 1995, S. 270).

Dies trifft sowohl bei den handgemessenen radiologischen Winkeln als auch bei den berechneten Winkeln der Druckverteilungsmessung zu. Vor allem wurden bei der Druckmessanalyse ebenfalls zwei Winkel (HV 3 und HV 4) quasi händisch eingezeichnet, da lediglich von einem berechneten Schnittpunkt ausgegangen wurde - siehe Kapitel 5.3.1 (Funktionelle Winkelbestimmung) - und der vorderste Punkt der Großzehe selbstständig definiert wurde. Hierbei wurden die vordersten zwei Sensoren des Hallux bei der grafischen Auswertung der Fußdruckanalyse halbiert. Dies führte insofern teilweise zu Problemen, da in Einzelfällen die zweite Zehe länger war und die Großzehe aufgrund der Deformität über oder unter der zweiten Zehe lag. Aus diesem Grund konnten auch nicht immer alle vier dynamischen Winkel berechnet werden, da der vorderste Punkt nicht bzw. nicht genau definiert werden konnte.

Im Bezug auf die radiologisch gemessenen Winkel ist noch auf die Studie von Schneider et al. (1998) aufmerksam zu machen. In ihrer Diskussion illustrierten sie, dass das Zentrum des Metatarsalkopfes ein unpassender Referenzwert für Hallux valgus Bemessungen ist. Sie begründeten dies mit einer teils schlechten Bestimmbarkeit des lateralen Fußrandes der Großzehe aufgrund einer eventuellen Verlagerung des Sesambeines nach lateral. Weiters nannten sie auch, dass ein Winkel ein dimensionsloser Wert ist, da lineare Messungen relativ zur absoluten Größe des Objekts sein sollten.

Zusammenfassend gilt, dass Winkelbestimmungen ein heikles Thema sind und bleiben. Es gibt eine Summe von Studien, die sich mit der Winkelbestimmung des Hallux valgus beschäftigen. In der vorliegenden Studie wurde untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen statischen und dynamischen Hallux valgus Winkeln gibt. Die Ergebnisse zeigten jedoch lediglich geringe bis mittlere Korrelationen.

Möglicherweise sind die von Resch et al. (1995) genannten geringen Messungenauigkeiten von 2° bis 3° ausschlaggebend für die nicht repräsentativen Ergebnisse. Laut Statistik ist wiederum anzunehmen, dass das Problem für die wenig aussagekräftigen Ergebnisse die Zusammenhänge zwischen den einzelnen dynamischen Winkeln sind.

Die Bilanz aus Kapitel 6 und die Interpretation in Kapitel 7 zeigen, dass sehr wohl signifikante Ergebnisse bei allen vier Fragestellungen dieser Untersuchung erzielt werden konnten. Aufgrund des Korrelationskoeffizienten ist die Stärke des Zusammenhangs jedoch lediglich als gering bis mittelmäßig anzusehen, wonach die Untersuchungsergebnisse wenig repräsentativ sind und, daher Anreiz für zukünftige Untersuchungen geben sollen.

## 9 Literaturverzeichnis

- Alexander, I. J., Chao, E. & Johnson, K. A. (1990). The Assessment of Dynamic Foot-to-Ground Contact Forces and Plantar Pressure Distribution: A Review of the Evolution of Current Techniques and Clinical Applications. *Foot & Ankle*, 11 (3), 152-167.
- Baumgartner, R. (1986). Prophylaxe und konservative Behandlung des Hallux valgus. In W. Blauth (Hrsg.), *Hallux valgus* (S. 37-43). Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer.
- Blanc, Y., Balmer, C., Landis, T. & Vingerhoets, F. (1999). Temporal parameters and patterns of the foot roll over during walking: normative data for healthy adults. *Gait and Posture*, 10, 97-108.
- Brinkmann, T. (1986). Der Hallux valgus aus der Sicht des niedergelassenen Orthopäden. In W. Blauth (Hrsg.), *Hallux valgus* (S. 21-26). Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer.
- Brosius, F. (2002). *SPSS 11. Fundierte Einführung in SPSS und die Statistik*. Mitp-Verlag: Bonn.
- Buchner, M., Schulze, A., Zeifang, F. & Sabo, D. (2005). Druckverteilungsmessung nach Scarf-Osteotomie bei Hallux valgus. *Zeitschrift für Orthopädie*, 143, 233-239.
- Cavanagh, P. R., Rodgers & Liboshi. (1987). Pressure distribution under symptom-free feet during barefoot standing. *Foot & Ankle Int.*, 7, 262-276.
- Cavanagh, P. R. & Ulbrecht, J. S. (1994). Clinical plantar pressure measurement in diabetes: rationale and methodology. *The Foot*, 4, 123-135.
- Coughlin, M. J. & Jones, C. P. (2007). Hallux Valgus: Demographics, Etiology, and Radiographic Assessment. *Foot & Ankle International*, 28 (7), 759-776.
- Debrunner, H. U. (1986). Ätiologie und Pathogenese des Hallux valgus. In W. Blauth (Hrsg.), *Hallux valgus* (S. 37-43). Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer.
- Debrunner, H. U. & Jacob, H. A. C. (1998) *Biomechanik des Fußes* (2., völlig neu bearbeitete Auflage). Stuttgart: Enter.
- Deigentesch, N. & Bender, G. (1987). *Der Fuß in der Orthopädie*. Stuttgart, New York: Schattauer.
- Eulert, J. & Mau, H. (1986). Der Hallux valgus: klinisches und röntgenologisches Bild. In W. Blauth (Hrsg.), *Hallux valgus* (S. 37-43). Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer.
- Fuhrmann, R. A., Layher, F. & Wetzels, W. D. (2003). Der Einfluss der Fußbelastung auf die röntgenologische Projektion klinisch relevanter Winkelverhältnisse am Vorfuß. *Fuß- und Sprunggelenk*, 1 (2), 104-109.
- Götz-Neumann, K. (2006). *Gehen verstehen – Ganganalyse in der Physiotherapie*. Stuttgart, New York: Thieme.
- Graumann, W. & Sasse, D. (Hrsg.). (2004). *Compactlehrbuch Anatomie. Band 2 Bewegungsapparat*. Stuttgart: Schattauer.
- Gruyter, W. (2004). *Pschyrembel. Klinisches Wörterbuch* (260., neu bearbeitete Auflage). Berlin: Walter de Gruyter GmbH & Co.KG.
- Heidinger, F., Kurz, B., Selbach, R. & Diebschlag, W. (1987). Einsatzmöglichkeiten eines Druckverteilungsmessgerätes zur anthropometrischen und orthopädischen Fußdatenanalyse. *Zeitschrift für Orthopädie*, 125, 201-205.
- Hennig, E. (1990). Druckverteilungsmuster in Abhängigkeit von der Fußstruktur bei muskulär aktiven und passiven Belastungsformen. *Sportverletzung und Sportschaden*, 4, 109-116.
- Hennig, E. M. & Milani, Th. L. (1993). Die Dreipunktunterstützung des Fußes. Eine Druckverteilungsanalyse bei statischer und dynamischer Belastung. *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete*, 131, 279-284.
- Hennig, E. M., Staats, A. & Rosenbaum, D. (1994). Plantar Pressure Distribution Patterns of Young School Children in Comparison to Adults. *Foot & Ankle International*, 15 (1), 35-40.

- Hermann, B. (1995). Form und Statik der Metatarsalköpfchenreihe beim Erwachsenen. Sonographische und podometrische Untersuchung. *Zeitschrift für Orthopädie*, 133, 335-340.
- Hughes, J., Pratt, L., Linge, K., Clark, P. & Klenerman, L. (1991). Reliability of pressure measurements: the EMED F system. *Clinical Biomechanics*, 6, 14-18.
- Hutton, W. C. & Dhanedran, M. (1981). The Mechanics of Normal and Hallux Valgus Feet – A Quantitative Study. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 157, 7-13.
- Imhäuser, G. (1986). Der Hallux valgus. In W. Blauth (Hrsg.), *Hallux valgus* (S. 19-20). Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer.
- Imhoff, A. B. (Hrsg.). (2000). *Fortbildung Orthopädie*. Darmstadt: Steinkopff.
- Imhoff, A., Baumgartner, R., Blauth, W., Büsch, H.-G. & Lamprecht, E. (1986). Fehlschläge nach Hallux valgus Operationen. In W. Blauth (Hrsg.), *Hallux valgus* (S. 21-26). Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer.
- Jacob, H. A. C. & Zollinger, H. (1992). Zur Biomechanik des Fußes – Kräfte beim Gehen im Vorfuß und ihre klinische Relevanz. *Orthopädie*, 21, 75-80.
- Kent, M. (Hrsg.). (1998). *Wörterbuch Sportwissenschaft und Sportmedizin*. Wiesbaden: Limpert.
- Kernozek, T. W. & LaMott, E. E. (1994). Comparisons of plantar pressures between the elderly and young adults. *Gait & Posture*, 3, 144-148.
- Kirtley, C. (2006). *Clinical Gait Analysis: Theory and Practise*. Churchill Livingstone: Washington.
- Krämer, J. & Grifka, J. (2001). *Orthopädie* (6., korrigierte und aktualisierte Auflage). Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Lamur, K. S., Huson, A., Snijders, Ch. & Stoeckart, R. (1996). Geometric Data of Hallux Valgus Feet. *Foot & Ankle International*, 17 (9), 548-554.
- Macellari, V., Giacomozzi, C. & Saggini, R. (1999). Spatial-temporal parameters of gait: reference data and a statistical method for normality assessment. *Gait and Posture*, 10, 171-181.
- Milani, T. L. & Retzlaff, S. (1995). Druckverteilungsanalyse zur Beurteilung des Abrollverhaltens bei operierten Hallux valgus-Patienten. *Zeitschrift für Orthopädie*, 133, 341-346.
- Mitskewitch, V. (1992). The Pressure Distribution in Hallux Valgus Feet Before and After Surgery. *PMR*, 1 (2), 4-10.
- Netter, F. (2001). *Netters Orthopädie*. Stuttgart: Thieme.
- Nyska, M., Liberson, A., McCabe, C., Linge, K. & Klenerman, L. (1998). Plantar foot pressure distribution in patients with Hallux valgus treated by distal soft tissue procedure and proximal metatarsal osteotomy. *Foot and Ankle Surgery*, 4, 35-41.
- Piqué-Vidal, C., Maled-García, I., Arabi-Moreno, J. & Vila, J. (2006). Radiographic Angles in Hallux valgus: Differences Between Measurements Made Manually and With a Computerized Program. *Foot & Ankle International*, 27 (3), 175-180.
- Platzer, W. (1986). Zur funktionellen und topographischen Anatomie des Vorfußes. In W. Blauth (Hrsg.), *Hallux valgus* (S. 21-26). Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer.
- Platzer, W. (2003). *Taschenatlas der Anatomie. Band 1 Bewegungsapparat* (8., korrigierte und ergänzte Auflage). Stuttgart: Thieme.
- Ponocny-Seliger, E. & Ponocny, I. (2006). Statistik for you. Eine anwendungsbezogene Einführung in die quantitative Auswertungsmethoden unter besonderer Berücksichtigung von SPSS 10.0. Facultas: Wien.
- Prince, F., Corriveau, H., Hébert, R. & Winter, D. A. (1997). Gait in the elderly. *Gait and Posture*, 5, 128-135.
- Putz, R. & Müller-Gerbl, M. (1991). Funktionelle Anatomie des Fußes. *Orthopäde*, 20, 2-10.
- Rehm, S. & Fecher, K. (2004). Austin-OP bei Hallux valgus-Defomität. *Fuß und Sprunggelenk*, 2, 85-90.

- Resch, S., Ryd, L., Stenström, A., Johnsson, K. & Reynisson, K. (1995). Measuring Hallux valgus: A Comparison of Conventional Radiography and Clinical Parameters with Regard to Measurement Accuracy. *Foot & Ankle International*, 16 (5), S. 267-270.
- Rosenbaum, D. & Becker, H.-P. (1997). Plantar pressure distribution measurements. Technical background and clinical applications. *Foot and Ankle Surgery*, 3, 1-14.
- Rosenbaum, D., Hautmann, S., Gold, M. & Claes, L. (1994). Effects of walking speed on plantar pressure patterns and hindfoot angular motion. *Gait & Posture*, 2 (3), 191-197.
- Schneider, W. & Knahr, K. (1998). Metatarsophalangeal and Intermetatarsal Angle: Different Values and Interpretation of Postoperative Results Dependent on the Technique of Measurement. *Foot & Ankle International*, 19 (8), 532-536.
- Schneider, W., Csepan, R., Kasperek, M., Pinggera, O. & Knahr, K. (2002). Intra- and interobserver repeatability of radiographic measurements in hallux surgery. *Acta Orthop. Scand*, 73 (6), 670-673.
- Tillmann, B., Tichy, P. & Schleicher, A. (1986). Biomechanik des Vorfußes unter besonderer Berücksichtigung des Hallux valgus. In W. Blauth (Hrsg.), *Hallux valgus* (S. 27-36). Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer.
- Wanivenhaus, H. A. (1989). *Zur Ätiologie und Therapie des Hallux valgus mit Metatarsus Primus Varus*. Wien: Wilhelm Maudrich.
- Whittle, M. W. (2002). *Gait Analysis: an introduction. 3rd ed.*. Butterworth-Heinemann: Oxford.
- Wülker, N. (1997). Hallux valgus. *Der Orthopäde*, 7 (26), 654-664.
- Zöfel, P. (2002). *Statistik verstehen. Ein Begleitbuch zur computergestützten Anwendung*. München: Addison-Wesley.
- Zollinger, H. & Imhoff, A. (1986). Die operative Behandlung des Hallux valgus. In W. Blauth (Hrsg.), *Hallux valgus* (S. 21-26). Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer.

## 10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Abbildung: Skelett des rechten Fußes, rot: medialer Strang, grau: lateraler Strang (Graumann et al., 2004, S. 186) .....	12
Abbildung 2: Einteilung des Fußes (Krämer et al., 2001, S. 438) .....	13
Abbildung 3: Drehbewegung im unteren Sprunggelenk (Debrunner et al., 1998, S. 9) .....	17
Abbildung 4: Bänder des Fußes von lateral (Platzer, 2003, S. 227) .....	18
Abbildung 5: Bänder des Fußes von medial (Platzer, 2003, S. 227).....	18
Abbildung 6: Zehengelenke; 2. rechte Zehe von medial, rot: Gelenksspalten (Graumann et al., 2004, S. 200) .....	20
Abbildung 7: Fußabdrücke (Platzer, 2003, S. 231).....	35
Abbildung 8: Hallux valgus (Wülker, 1997, S. 656).....	36
Abbildung 9: Therapieschema für geeignete Operationstechnik (Wülker, 1997, S.658).....	41
Abbildung 10: Fußinnenrandwinkel (Wülker, 1997, S. 654).....	43
Abbildung 11: Darstellung verschiedener Fußwinkel (Wanivenhaus, 1989, S. 39) .....	44
Abbildung 12: Röntgenologischer Hallux valgus Winkel .....	49
Abbildung 13: Funktionelle Winkelbestimmung .....	52
Abbildung 14: Altersgruppen in Prozent.....	57
Abbildung 15: ein- bzw. beidseitige Operation .....	
Abbildung 16: operierte Seite .....	57
Abbildung 17: Aufteilung der operierten Füße .....	58
Abbildung 18: Gegenüberstellung der Schmerzen prä- zu postoperativ .....	59
Abbildung 19: Gegenüberstellung der Aktivitätseinschränkung prä- zu postoperativ.....	60
Abbildung 20: Gegenüberstellung des Schuhwerks prä- zu postoperativ .....	61
Abbildung 21: Gegenüberstellung der maximalen Gehstrecke prä- zu postoperativ .....	61
Abbildung 22: Gegenüberstellung der Bodenunebenheiten prä- zu postoperativ .....	62
Abbildung 23: Gegenüberstellung der Schwielen prä- zu postoperativ .....	62
Abbildung 24: Gegenüberstellung der kosmetischen Korrektur prä- zu postoperativ .....	63
Abbildung 25: Gegenüberstellung der Beweglichkeit im Großzehengrundgelenk prä- zu postoperativ.....	64
Abbildung 26: Grafische Darstellung der Schmerzskala nach VAS präoperativ .....	65
Abbildung 27: Grafische Darstellung der Schmerzskala nach VAS postoperativ .....	65
Abbildung 28: Grafische Darstellung der Zufriedenheit nach VAS präoperativ .....	66
Abbildung 29: Grafische Darstellung der Zufriedenheit nach VAS postoperativ .....	66
Abbildung 30: Darstellung der durchschnittlichen Röntgenwinkel und ihre Standardabweichung	67
Abbildung 31: Darstellung der durchschnittlichen Winkel der Druckverteilungsmessung .....	68
Abbildung 32: Geschwindigkeitsanalyse Testperson A.....	69
Abbildung 33: Geschwindigkeitsanalyse Testperson B.....	70
Abbildung 34: Geschwindigkeitsanalyse Testperson C .....	71
Abbildung 35: Geschwindigkeitsanalyse Testperson D.....	71
Abbildung 36: Geschwindigkeitsanalyse Testperson E .....	72
Abbildung 37: Gegenüberstellung der Winkel präoperativ .....	73
Abbildung 38: Gegenüberstellung der Winkel postoperativ .....	75
Abbildung 39: Gegenüberstellung der veränderten Winkeln.....	76



## 11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einstufung des Korrelationskoeffizienten (Zöfel, 2002, S. 120) .....	54
Tabelle 2: Überprüfung der Normalverteilung präoperativ .....	74
Tabelle 3: Rangkorrelation nach Spearman: RÖ-Winkel zu HV 1 präoperativ .....	74
Tabelle 4: Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson: RÖ-Winkel zu HV 2, HV 3, HV 4 präoperativ .....	74
Tabelle 5: Überprüfung der Normalverteilung postoperativ .....	75
Tabelle 6: Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson: RÖ-Winkel zu HV 1, HV 2, HV 3, HV 4 postoperativ .....	75
Tabelle 7: Überprüfung der Normalverteilung bezogen auf die Winkelveränderung.....	77
Tabelle 8: Rangkorrelation nach Spearman: Veränderung RÖ-Winkel zu HV 1 .....	77
Tabelle 9: Produkt-Moment-Korrelation nach Pearson: Veränderung RÖ-Winkel zu HV 2, HV 3, HV 4.....	77
Tabelle 10: Überprüfung der Normalverteilung bei den röntgenologischen Winkeln.....	78
Tabelle 11: Überprüfung der Varianzhomogenität mit dem Mauchly-Test.....	78
Tabelle 12: Test der Innersubjekteffekte.....	79
Tabelle 13: Paarweiser Vergleich der drei Röntgenwinkel.....	79
Tabelle 14: Mittelwerte der röntgenologischen Winkel.....	79
Tabelle 15: Überprüfung der Normalverteilung bei den dynamischen Winkeln präoperativ .....	80
Tabelle 16: Überprüfung der Normalverteilung bei den dynamischen Winkeln postoperativ .....	80
Tabelle 17: Unterschiedsberechnung HV 1.....	80
Tabelle 18: Unterschiedsberechnungen HV 2, HV 3 und HV 4 .....	80
Tabelle 19: Unterschiedsberechnung der ordinalskalierten Variablen des Fragebogens .....	81
Tabelle 20: Überprüfung der Normalverteilung bei den Fragebogenvariablen präoperativ .....	81
Tabelle 21: Überprüfung der Normalverteilung bei den Fragebogenvariablen postoperativ .....	82
Tabelle 22: Unterschiedsberechnung mit Hilfe des Ersatzverfahrens.....	82
Tabelle 23: Unterschiedsberechnung der intervallskalierten Variablen des Fragebogens .....	82
Tabelle 24: Zusammenhänge aller Veränderungsvariablen .....	83
Tabelle 25: Multiple Regression präoperativ .....	84
Tabelle 26: Multiple Regression postoperativ.....	84
Tabelle 27: Mittelwerte des medizinischen Erscheinungsbildes.....	85
Tabelle 28: Mittelwerte der Röntgenwinkel.....	86
Tabelle 29: Mittelwerte der Druckverteilungsmessungswinkel .....	86
Tabelle 30: präoperative Zusammenhänge.....	87
Tabelle 31: postoperative Zusammenhänge .....	88
Tabelle 32: durchschnittliche Winkelveränderung in Prozent .....	89
Tabelle 33: veränderungsspezifische Zusammenhänge .....	89

# 12 Anhang

## 12.1 Patientenfragebogen (laut Original)

Name:	Vorname:	Datum:
li re	<b>Schmerz</b>	
o o	- kein Schmerz	
o o	- gering, fallweise	
o <input checked="" type="radio"/>	- mäßig, täglich	
o o	- stark, nahezu immer vorhanden	
li re	<b>Aktivitätseinschränkungen</b>	
o o	- keine Einschränkungen	
o o	- keine Einschränkungen im täglichen Leben, nur bei Freizeitaktivitäten	
o o	- Einschränkungen im täglichen Leben und bei Freizeitaktivitäten	
o <input checked="" type="radio"/>	- starke Einschränkungen im täglichen Leben und bei Freizeitaktivitäten	
li re	<b>Schuhwerk</b>	
o o	- modische, konventionelle Schuhe ohne Einlagen	
o <input checked="" type="radio"/>	- bequeme Schuhe, Einlagen	
o o	- zugerichtete Schuhe, Orthesen	
li re	<b>Maximale Gehstrecke</b>	
o o	- mehr als 1km	
o <input checked="" type="radio"/>	- 500m - 1km	
o o	- 100m - 500m	
o o	- weniger 100m	
li re	<b>Bodennebenheiten</b>	
o o	- keine Schwierigkeiten auf allen Böden	
o <input checked="" type="radio"/>	- geringe Schwierigkeiten auf unebenen oder schrägen Böden, Stiegen oder Leitern	
o o	- starke Schwierigkeiten auf unebenen oder schrägen Böden, Stiegen oder Leitern	
li re	<b>MTP Beweglichkeit (Dorsiflexion plus Plantarflexion)</b>	
o o	- normal oder leichte Einschränkung (75° oder mehr)	
o <input checked="" type="radio"/>	- mäßige Einschränkung (30°-74°)	
o o	- starke Einschränkung (weniger als 30°)	
li re	<b>IP Beweglichkeit (Plantarflexion)</b>	
o <input checked="" type="radio"/>	- keine Einschränkung	
o o	- starke Einschränkung (weniger als 10°)	
li re	<b>MTP-IP Stabilität (alle Richtungen)</b>	
o <input checked="" type="radio"/>	- stabil	
o o	- instabil oder luxierbar	
li re	<b>Schwielen bezogen auf Großzehen MTP-IP-Region</b>	
o <input checked="" type="radio"/>	- keine oder schmerzfreie Schwielen	
o o	- schmerzhafte Schwielen	
li re	<b>Kosmetisches Erscheinungsbild</b>	
o o	- sehr gut, Großzehe gut korrigiert	
o o	- gut, leichte Fehlstellung, asymptomatisch	
o <input checked="" type="radio"/>	- schlecht, Fehlstellung, symptomatisch	

**Beweglichkeit des Großzehengrundgelenkes (in°, bezogen auf Bodenauftrittsebene)**

II	III	IV	V	II	III	IV	V
Dorsalextension / 0 / Plantarflexion				Dorsalextension / 0 / Plantarflexion			

**Metatarsalgie (0 / + / ++ / +++ / ++++)**

II	III	IV	V	II	III	IV	V
<i>VAS: Schmerz</i> <i>Zufriedenheit:</i>				<i>KO</i>			

## ***12.2 Zusammenfassung***

Intention dieser Studie war es, zu überprüfen ob es einen Zusammenhang zwischen radiologischen Aufnahmen und Fußdruckverteilungsmessungen beim Hallux valgus Winkel gibt. Diese Zusammenhänge wurden sowohl prä- als auch ein Jahr postoperativ untersucht. Weiters wurde das medizinische Erscheinungsbild - welches anhand eines Fragebogens erhoben wurde - in die Auswertung miteinbezogen. Hiermit wurde in weiterer Folge überprüft, ob es Zusammenhänge zwischen den einzelnen Winkelveränderungen und den Variablen des Fragebogens gibt.

Insgesamt nahmen 34 Personen im Alter zwischen 35 und 87 Jahren (Durchschnittsalter: 59 Jahre) an der Untersuchung teil. Alle Patienten wurden mit der Operationsmethode nach Austin behandelt. Es wurden drei röntgenologische Aufnahmen (präoperativ, ein bis zwei Tage postoperativ, ein Jahr postoperativ), zwei Druckverteilungsmessungen (prä- und postoperativ) und das medizinische Erscheinungsbild wiederum prä- und postoperativ erhoben. Alle drei Untersuchungen fanden am selben Tag statt. In Summe konnten die Werte von 53 Füßen in die Auswertung aufgenommen werden, da nicht alle Patienten an beiden Seiten gleichzeitig operiert wurden oder der Nachuntersuchungszeitraum weniger als ein Jahr betrug.

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl bei den Fragebögen, bei den Röntgenaufnahmen und auch bei den Druckverteilungsmessungen wesentliche Verbesserungen der Werte eingetroffen sind. Bei der Überprüfung auf Zusammenhänge konnten einerseits signifikante Ergebnisse erzielt werden, die Stärke der Zusammenhänge war jedoch auf der anderen Seite mit gering bis mittel als wenig Zufriedenstellend einzustufen wonach die Ergebnisse wenig repräsentativ sind.

Im Zuge einer abschließenden Diskussion wurden für die wenig aussagekräftigen Resultate zwei mögliche Probleme herauskristallisiert. Als erster problematischer Punkt wurde die Geschwindigkeit genannt, im Weiters nahm man Bezug auf die Schwierigkeiten der Winkelbestimmungen sowohl im radiologischen als auch im pedographischen Bereich.

### ***12.3 Summary***

Purpose of this study was to check if there is a correlation between x-ray measurements and plantar pressure distribution measurements in Hallux valgus angles. These relationship were examined both pre- and postoperatively. Additionally the medical phenotype, which one was lifted up with a questionnaire, was integrated in the evaluation. Hereby it was checked in a broader consequence if there are connections between changes of the Hallux valgus angles and the variables of the questionnaire.

Overall 34 persons in the age between 35 and 87 years (average age: 59 years) participated. All patients were treated with the operation method to Austin. Three x-rays (preoperative, one or two days postoperative, one year postoperative), two plantar pressure distribution measurements (pre- and postoperative) and in turn the medical phenotype pre- and postoperative were lifted up. All three examinations took place on the same day. Totally the values of 53 feet could be included in the evaluation since all patients did not have an operation on the two sides at the same time or the check-up time was less than one year.

The results show that essential improvements in the values have reached at the questionnaire, the x-rays and also at the plantar pressure distribution measurements. Regarding the connections the results were not so convincing. On the one hand significant results could be achieved. The strength of the connections was on the other side less satisfying. So the results are not so convincing.

In the course of a final discussion two possible problems for the less expressive results were defined. As the first problematic point the speed was called. Furthermore the difficulties of the angle measurements in both the x-rays and in the plantar pressure distribution were discussed.

## ***12.4 Lebenslauf***

### **PERSÖNLICHE DATEN:**

Name: Eva Maria Klein  
Adresse: Spittelauer Lände 15-21/5/12  
1090 Wien  
Kontakt: eklein@gmx.at  
Geburtsdatum: 25.12.1982  
Geburtsort: Wien  
Staatsangehörigkeit: Österreich

### **AUSBILDUNG:**

September 1989 - Juni 1993 Volksschule Göpfritz/Wild  
September 1993 – Juni 1997 Hauptschule Groß-Siegharts  
September 1997 – Juni 2002 HAK Waidhofen/Thaya  
Oktober 2004 – Oktober 2007 Bakkalaureatsstudium Gesundheitssport  
seit Oktober 2007 Magisterstudium Sportwissenschaft

### **BERUFSERFAHRUNGEN:**

Wintermonate seit 2005 Ski- und Snowboardunterricht auf diversen  
Schulsportwochen sowie Unterricht in Skischulen  
August 2006 – September 2006 Moorheilbad Harbach  
Oktober 2006 Mitarbeit beim Nestlé Austria Schullauf  
Oktober 2006 – Februar 2009 Aquafitnesskurse am Universitätssportinstitut  
seit Oktober 2006 Sportunion NÖ – Schultour, Bädertour, etc.  
Wintermonate seit Februar 2007 Chefskilehrerin in der Skischule Jauerling  
seit Juli 2007 Testbetreuerin beim Gesunden NÖ  
August 2007 – September 2007 Medifit Schwelm (Zentrum für ambulante  
Rehabilitation, Prävention, Sportphysiotherapie,  
Physiotherapie, Ergotherapie und Logopädie)

seit Oktober 2007

Spielpädagogin beim Freiraum GmbH

August 2008

Betreuerin Sportwoche für Menschen mit besonderen Bedürfnissen

Wintermonate seit 2008

Skiunterricht für Menschen mit Behinderung

#### ZUSATZQUALIFIKATIONEN:

- Rettungsschwimmerin
- Nordic Walking Trainerin
- Aquafitness Trainerin
- Begleitski-, Begleitsnowboard-, Begleitlanglauflehrerin
- Pinofit Physiotaping (Behandlungskonzept mit flexiblen Tapes)
- Instruktorin für Behindertenskilaf (BAFL Innsbruck in Ausbildung)

#### SPRACHKENNTNISSE:

Deutsch:

Muttersprache

Englisch:

Maturakenntnisse

Spanisch:

Grundkenntnisse

#### HOBBIES und INTERESSEN:

- Ski- und Snowboardfahren
- Laufen
- Schwimmen
- Fußball