

Aus der Chirurgischen Klinik und Poliklinik Innenstadt  
der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Vorstand: Prof. Dr. med. W. Mutschler

# **Prospektive Untersuchung interner Osteosynthesen mit resorbierbaren Implantaten in der Vorfußchirurgie**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Panagiotis Bouliopoulos

aus  
München

2005

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Sigurd Keßler

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. Hans Hertlein

Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Christian Kinast

Dekan: Prof. Dr. med. Dietrich Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 06.10.2005

**Für meine Eltern**

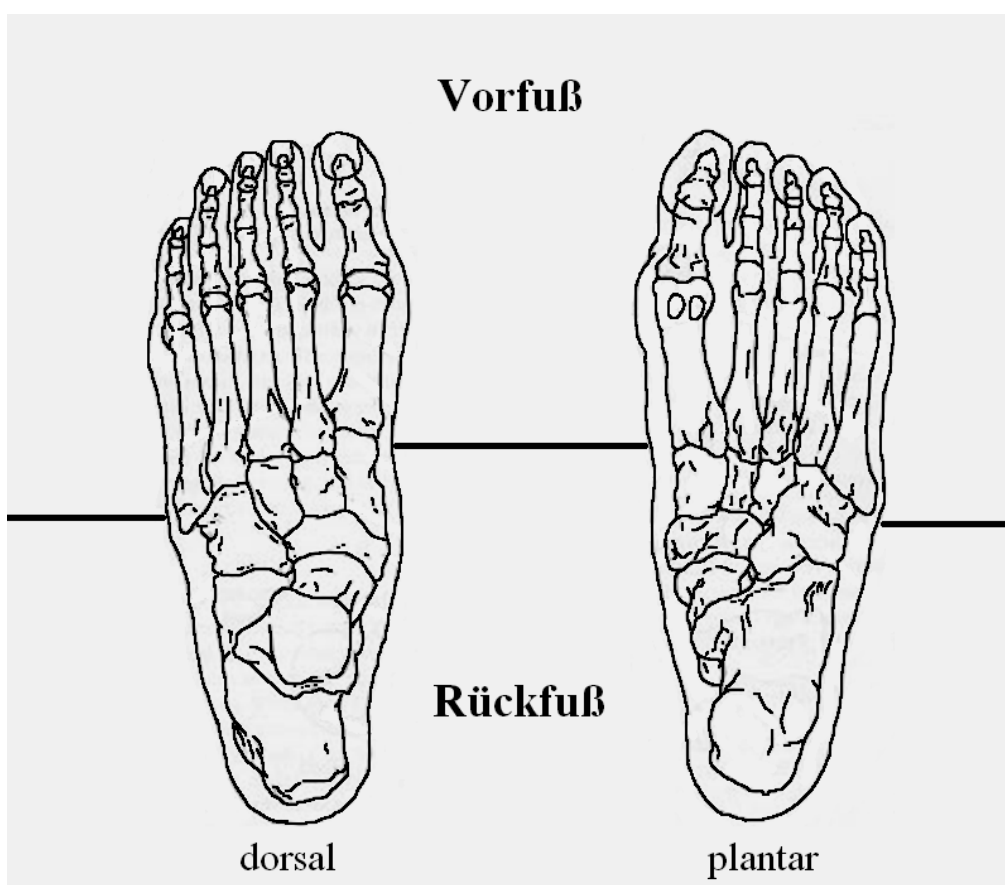
# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1. Einleitung</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>2. Material und Methoden</b> . . . . .	<b>15</b>
<b>2.1 Vorfußdeformitäten</b> . . . . .	<b>15</b>
2.1.1 Hallux valgus . . . . .	15
2.1.2 Metatarsus primus varus . . . . .	17
2.1.3 Hallux rigidus . . . . .	17
2.1.4 Hallux valgus interphalangeus . . . . .	18
2.1.5 Digitus quintus varus . . . . .	18
2.1.6 Metatarsus quintus valgus . . . . .	18
2.1.7 Hammerzehen . . . . .	19
2.1.8 Krallenzehen . . . . .	21
2.1.9 Metatarsalgiesyndrom . . . . .	21
<b>2.2 Operationstechniken</b> . . . . .	<b>22</b>
2.2.1 Scarf-Osteotomie am Metatarsale I . . . . .	22
2.2.2 Chevron-Osteotomie am Metatarsale I . . . . .	24
2.2.3 Akin-Osteotomie an der Großzehengrundphalanx . . . . .	25
2.2.4 Scarf- und Chevron-Osteotomie am Metatarsale V . . . . .	26
2.2.5 Operationen bei Hammerzehen . . . . .	27
2.2.6 Weil-Osteotomie . . . . .	30
<b>2.3 Implantate</b> . . . . .	<b>32</b>
2.3.1 Resorbierbare Schrauben . . . . .	32
2.3.2 Resorbierbare Pins . . . . .	34
<b>2.4 Patienten</b> . . . . .	<b>34</b>
<b>2.5 Methoden</b> . . . . .	<b>36</b>
2.5.1 Klinische Untersuchung . . . . .	38
2.5.2 Radiologische Untersuchung . . . . .	38
2.5.3 Patientenzufriedenheit . . . . .	49
2.5.4 Statistische Auswertung . . . . .	50

<b>3. Ergebnisse</b>	<b>51</b>
<b>3.1 Klinische Untersuchung</b>	<b>51</b>
3.1.1 Schmerzen	52
3.1.2 Funktion	53
3.1.3 Stellung	58
<b>3.2 Radiologische Untersuchung</b>	<b>60</b>
3.2.1 Zwei Messtechniken im Vergleich	60
3.2.2 Intermetatarsalwinkel M I – M II	61
3.2.3 Hallux-valgus-Winkel	63
3.2.4 Rezidive	64
3.2.5 Intermetatarsalwinkel M IV – M V	65
3.2.6 Tibiale Sesambeinposition	66
3.2.7 Metatarsalindex	67
3.2.8 Kongruenz	68
3.2.9 Kleinzechenkorrekturen.	69
3.2.10 Metatarsale-Variation	70
3.2.11 Callusbildung	72
3.2.12 Vergrößerung der Bohrlöcher / Lysen	75
<b>3.3 Patientenzufriedenheit</b>	<b>76</b>
<b>3.4 Komplikationen</b>	<b>78</b>
<b>4. Diskussion</b>	<b>80</b>
<b>4.1 Metallimplantate vs. resorbierbare Implantate</b>	<b>80</b>
<b>4.2 Stabilität</b>	<b>81</b>
<b>4.3 Biokompatibilität</b>	<b>82</b>
<b>4.4 Operationsergebnisse</b>	<b>84</b>
<b>4.5 Schlussfolgerung</b>	<b>87</b>
<b>5. Zusammenfassung</b>	<b>89</b>
<b>6. Literaturverzeichnis</b>	<b>91</b>

## 1. Einleitung

Der durch die Evolution entstandene aufrechte Gang des Menschen ermöglichte die Entlastung der oberen Extremitäten, welche von erheblicher Bedeutung für die Entstehung und Entwicklung der menschlichen Zivilisation war. Auf der anderen Seite aber, hatte er als Folge die größere Belastung der unteren Extremitäten.



*Abb. 1: Schematische Darstellung der Knochen des menschlichen Fußes (bearbeitetes Bild, Vorbild aus Normal Anatomy of the Forefoot, Samojla, 1994).*

Fußprobleme sind neben Erkältungen und Zahnschmerzen die häufigsten Beschwerden der Menschen (Quelle: Homepage der „Gesellschaft für Fußchirurgie“). In Bezug auf den Fuß gibt es eine Vielzahl von Krankheitsbildern, welche in allen Altersgruppen aufzufinden sind. Die häufigsten davon sind der so genannte Großzehenballen (Hallux valgus), die Großzehengrundgelenkssteifigkeit (Hallux

rigidus), der verdickte Kleinzeheballen oder Schneiderballen (Metatarsus quintus valgus), die Hammerzehe (Sphynodaktylie), der Senkfuß (Pes planus), der Fersensporn (plantare Kalkaneusexostose) und der plantare Vorfußschmerz (Metatarsalgie).

Zur Behandlung dieser Fußprobleme sind in vielen Fällen konservative Maßnahmen nicht ausreichend und ein operativer Eingriff ist indiziert. Das medizinische Fachgebiet, welches sich mit der Behandlung der Fehlformen oder Deformitäten des Fußes beschäftigt ist die Fußchirurgie. Diese Deformitäten können im Zehen-, Mittelfußbereich und im Bereich der Fußwurzel auftreten. Zehen und Mittelfuß bilden den Vorfuß, die Fußwurzel den Rückfuß (Abb. 1).

Die weit überwiegende Mehrzahl der Deformitäten betrifft den Vorfuß. Viele Faktoren spielen eine Rolle in der Entwicklung von Vorfußfehlstellungen. Falsches Schuhwerk kann hierbei eine Ursache sein. Dieser Zusammenhang zwischen dem Schuhwerk und dem vermehrten Auftreten von Vorfußdeformitäten wurde in der Literatur mehrfach beschrieben (Elmslie 1939, Craigmile 1953, Sim-Fook und Hodgson 1958, Gastwirth 1991, Wülker 1997).

Ein weiterer wesentlicher Parameter in der Entstehung von Vorfußdeformitäten scheint die erbliche Veranlagung zu sein. Dafür spricht auch das Auffinden von Fehlstellungen, wie zum Beispiel von Hallux valgus bei jugendlichen Patienten. Eine familiäre Prädisposition bei Hallux valgus Patienten ist sowohl von Hardy und Clapham (1951), als auch von Mitchell (1958) und Glynn (1980) beschrieben worden.

Letztlich muss auch auf die Prädisposition für Vorfußfehlstellungen in Bezug auf das weibliche Geschlecht hingewiesen werden. Die große Mehrzahl der betroffenen Patienten sind Frauen. Für den Hallux valgus zum Beispiel geht Mann (1998) von einer Häufigkeitsverteilung von 10 zu 1 aus. Hierbei kann das modische Schuhwerk nicht die alleinige Ursache sein. Vielmehr scheinen die bei weiblichen Patienten häufiger auftretenden muskulären Defizite und Bindegewebsschwäche eine wichtige Rolle zu spielen.

Unabhängig davon, was die Ursachen für die Entstehung von Vorfußdeformitäten auch sein mögen, steht heute dem Fußchirurgen eine Vielzahl von verschiedenen in der Fachliteratur beschriebenen Operationstechniken zur Verfügung, mit denen er die Fehlstellungen korrigieren kann. Hierbei kann man zwischen Weichteileingriffen, welche Operationen am Weichteilgewebe sind (Muskeln, Sehnen, Gelenkkapseln, Haut) und Eingriffen am Knochen unterscheiden.

Bei den Operationen, die an den Knochen des Vorfußes durchgeführt werden, handelt es sich entweder um Exzision und Resektion von Knochengewebe (z.B. Cheilektomie), partielle Resektion von Knochen (z.B. Metatarsalköpfchenresektion), totale Resektion von Knochen (z.B. Mittelphalanxresektion), Knochentransplantation und –transposition (z.B. Einsetzen von Spongiosa) oder Implantation von alloplastischem Knochenersatz (z.B. Einsetzen einer Totalendoprothese am ersten Metatarsophalangealgelenk). Die weitaus bedeutendste Rolle aber in der operativen Behandlung von Vorfußdeformitäten spielen die verschiedenen Osteotomien und Korrekturosteotomien (Operationsschlüssel nach § 301 SGB-V, Version 2.1, Stand 15.08.2001, Kapitel 5-788: Operationen an Metatarsale und Phalangen des Fußes).

Das zusammengesetzte Wort Osteotomie kommt aus dem griechischen und beschreibt die Durchtrennung von Knochen (griech. Osto [οστό] = Knochen und Tomie [τομή] = Teilung, Trennung, Schnitt). Bei den meisten Operationstechniken, welche in der Vorfußchirurgie angewendet werden, folgt der Osteotomie eine Osteosynthese (griech. Osto [οστό] = Knochen und Synthese [σύνθεση oder σύνθεσις] = harmonische Zusammensetzung von Teilen zum Entstehen eines Ganzen, Quelle: hellenisches Lexikon, Tegopoulos-Fytrakis, 1993).

In der Orthopädie bezeichnet man als Osteosynthese, die Fixation einer Fraktur oder einer Osteotomie durch technische Mittel, wie Drähte, Stifte, Schrauben oder Platten.

Eine der ersten beschriebenen Osteosynthesen am Menschen war die Fixation von Fragmenten eines gebrochenen Humerus mit einem Metalldraht durch zwei französische Physiker, nämlich Lapeyode und Sicre, im Jahr 1775 (Hench und Ethridge, 1982).



Damit eine Osteosynthese erfolgreich ist, muss eine ausreichende Stabilisierung und Fixierung der Knochenfragmente, zumindest bis zum Zeitpunkt der Knochenverheilung, gewährleistet sein. Ist dies nicht der Fall, können Pseudarthrose, Dislokation und Verheilen in einer unerwünschten Position die Folge sein. Diese Rolle der Osteosynthesefixation übernehmen die verschiedenen in der Orthopädie eingesetzten Implantate.

Als Implantat wird definiert, jedes medizinische Mittel, hergestellt aus einem oder mehreren Materialien, welches absichtlich im Körper eingesetzt wird und entweder total oder partiell von einer Epithelfläche gedeckt wird (Europäische Gesellschaft für Biomaterialien, 1986). Laut Wintermantel und Ha ist ein Implantat, ein jenseits der Haut- oder Schleimhautbarriere des Körpers eingebrachter Werkstoff, Bauteil, ein Werkstoff- oder Bauteilsystem (Biokompatible Werkstoffe und Bauweisen, Springer-Verlag, 1996).

Damit keine unerwünschten Fremdkörper- oder Entzündungsreaktionen auftreten, müssen die Implantate biokompatibel sein. Als Biokompatibilität bezeichnet man also die erwünschte Verträglichkeit zwischen einem technischen und einem biologischen System. Nicht nur die Implantatstruktur, sondern auch die Implantatoberfläche sollen sich bestmöglich an das Empfängergewebe anpassen können.

Die Biokompatibilität kann in zwei Arten gegliedert werden, nämlich in die Strukturkompatibilität und die Oberflächenkompatibilität. Strukturkompatibilität ist die Anpassung der Implantatstruktur an das mechanische Verhalten des Empfängergewebes. Damit sind sowohl Formgebung (Design) als auch "innere Struktur" des Implantates (z.B. die Ausrichtung von Fasern in anisotropen Werkstoffen) gemeint. Als Oberflächenkompatibilität bezeichnet man die Anpassung der chemischen, physikalischen, biologischen und morphologischen Oberflächeneigenschaften des Implantates an das Empfängergewebe mit dem Ziel einer klinisch erwünschten Wechselwirkung (Wintermantel und Ha, 1996).

Bei Knochenimplantaten unterscheidet Schenk (1986) folgende Grade der Kompatibilität:

- Inkompatibel:** Freisetzung von Substanzen in toxischen Konzentrationen oder von Antigenen, die Immunreaktionen hervorrufen.  
Reaktionen: Allergie, Fremdkörperreaktion, Entzündung, Nekrose, mögliche Abstoßung.
- Biokompatibel:** Freisetzung von Substanzen in nicht-toxischen Konzentrationen.  
Reaktionen: Einkapselung in Bindegewebe, schwache Fremdkörperreaktion (Riesenzellen).
- Bioinert:** Keine Freisetzung von toxischen Substanzen.
- Bioaktiv:** Positive Interaktion mit Gewebedifferenzierung.  
Reaktion: Bindung oder Adhäsion von Knochen entlang der Grenzfläche zwischen Implantat und Empfängergewebe.
- Induktiv:** Induktion von heterotoper Knochenbildung.
- Konduktiv:** Werkstoff dient als Gerüst für Knochenablagerung, aber nur in osteogener Umgebung.

Bei der Auswahl von Werkstoffen und bei der Entwicklung von Implantaten muss darauf geachtet werden, dass durch die Implantate keine toxischen Reaktionen hervorgerufen werden, die Zellen im umliegenden Gewebe nicht abgetötet und keine chemischen Substanzen herausgelöst werden, welche im Körper des Patienten einen systemischen Schaden verursachen (Black, 1984).

Generell wird zwischen vier Arten von Implantat-Gewebe-Interaktionen unterschieden. Ist das Implantat toxisch, wird eine Gewebenekrose hervorgerufen. Ist es inert, wird um das Implantat eine nicht-adhärende Bindegewebskapsel gebildet. Bei bioaktiven Implantaten bildet das Gewebe eine Bindung mit ihnen. Zuletzt, wenn das Implantat degradabel ist, wird es vom Gewebe ersetzt (Hench und Wilson, 1993).

Der menschliche Organismus reagiert auf Werkstoffe und Bauteile, die nicht kompatibel sind, grundsätzlich auf zwei Weisen. Entweder wird eine Entzündungsreaktion hervorgerufen oder es kommt zu einer allergischen Reaktion.

Als Entzündung bezeichnet man die Reaktion des Organismus und der Gewebe gegen schädigende Reize, mit dem Ziel, diese Reize zu beseitigen oder zu inaktivieren und das geschädigte Gewebe zu reparieren. Auslöser einer Entzündung können mechanische Reize, chemische Stoffe, Erreger und Stoffwechselprodukte sein. Die klassischen Entzündungszeichen sind Rötung (Rubor), Überwärmung (Calor), Schwellung (Tumor) und Schmerz (Dolor).

Während des Entzündungsvorganges durchwandern neutrophile Granulozyten und Monozyten die Gefäßwände mit dem Zweck den Entzündungsreiz und geschädigte Zellen mittels Phagozytose zu beseitigen. Zudem erfolgt die Einwanderung von Lymphozyten-Effektorzellen, welche spezifische Antikörper gegen den Entzündungsreiz bilden. Zusätzlich werden durch die bei der Reaktion erfolgende Aktivierung des Komplementssystems Komplementfaktoren und andere Entzündungsfaktoren (z.B. Histamin) freigesetzt, die als Mediatoren wirken. Des Weiteren wird die Blutgerinnung aktiviert. Fremdkörper lösen eine charakteristische Entzündung und Gewebereaktion aus, die so genannte Fremdkörperreaktion. Dabei wird ein Fremdkörpergranulom (Bindegewebekapsel) gebildet. Bei Immunintoleranz hat dies eine Abstoßungsreaktion zur Folge.

Wie gesagt, kann der menschliche Körper nicht nur mit Entzündung auf inkompatible Implantate reagieren, sondern auch mit einer allergischen Reaktion. Clemens von Pirquet schlägt 1906 in der Münchner Medizinischen Wochenschrift den Begriff Allergie vor (griech. Allos [ἄλλος] = anders, verändert und Ergon [ἔργον] = Arbeit, Mühe, Werk). Als Allergie wird die angeborene oder erworbene Änderung der Reaktionsfähigkeit des Immunsystems gegenüber körperfremden, eigentlich unschädlichen Substanzen definiert (Psychrembel, Klinisches Wörterbuch).

Es gibt vier Typen allergischer Reaktionen, welche zu unterschiedlich ausgeprägten Krankheitsbildern führen können:

- Typ I: Anaphylaxie (Überempfindlichkeit vom Soforttyp).  
Mediatorenfreisetzung aus Mastzellen und basophilen Granulozyten.  
Zu den Reaktionen des Allergietyps I gehört z.B. der Heuschnupfen.
- Typ II: Durch Antikörper vermittelte zytotoxische Reaktion.  
IgM- oder IgG-Antikörper, Komplement Aktivierung.  
Die bekanntesten Formen dieses Allergietyps sind Bluttransfusionsreaktionen.
- Typ III: Immunkomplexreaktion (Arthus-Reaktion).  
Immunkomplexablagerung (Antikörper plus lösliche Allergene) mit Komplement Aktivierung.  
Die hierdurch hervorgerufene Entzündungsreaktion kann Schädigung z.B. der Niere oder der Lunge verursachen.
- Typ IV: Überempfindlichkeit vom verzögerten Typ (Tuberkulin-Typ).  
Wird durch sensibilisierte Lymphozyten hervorgerufen.  
Beispiel für Typ IV ist die Kontaktallergie auf Metalle, wie z.B. auf Nickel.

Die Biokompatibilität ist also für den Erfolg eines Implantatwerkstoffes oder –bauteils von enormer Bedeutung. Sie ist aber nicht der einzige Faktor der diesbezüglich eine Rolle spielt. Ebenso wichtig sind: a) Gesundheitszustand des Patienten und b) Verlauf der Operation und der nachfolgenden Therapie.

Die für medizinische Zwecke im Menschen eingesetzten Implantatwerkstoffe können in vier große Kategorien eingeteilt werden. Dies sind: a) biokompatible Metalle, b) biokompatible Polymere, c) biokompatible keramische Werkstoffe und d) anisotrope biokompatible Faserverbundwerkstoffe. Diese Reihenfolge entspricht der historischen Entwicklung der Werkstoffe, die auch die Entwicklung der Implantate in der Medizin beeinflusste.

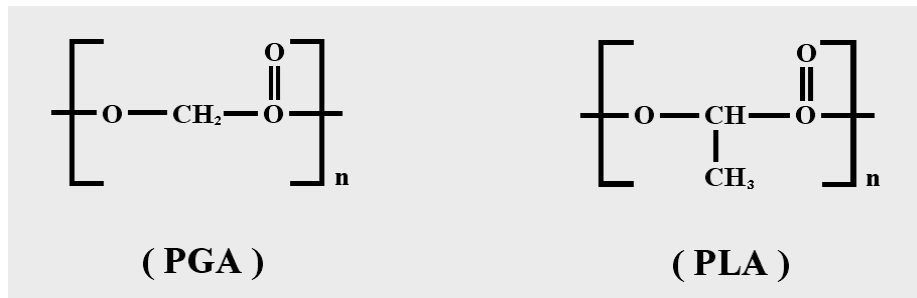
In der Medizintechnik werden zur Fixierung von Frakturen und Korrekturosteotomien vorwiegend metallische Implantate verwendet (Drähte, Stifte, Schrauben oder Platten). Dafür sind Metallimplantate gut geeignet, wegen ihrer mechanischen Eigenschaften, die eine ausreichende Stabilisierung der Knochenfragmente bis zur Knochenheilung gewährleisten. Implantate aus Metall aber weisen auch gewisse Nachteile auf: a) die Entfernung dieser Implantate bedingt einer zweiten Operation, verbunden mit zusätzlicher Belastung für den Patienten und einem kostenintensiven Klinikaufenthalt, b) Fraktur- oder Osteotomiestelle kann nur bedingt durch Röntgenaufnahme sichtbar gemacht werden, c) tomographische Aufnahmen können artefaktbehaftet sein, d) Korrosionsprodukte der metallischen Implantate können eine körperschädigende Wirkung haben und e) es kann nach der Implantation zum Effekt des so genannten „stress-shielding“ kommen, das heißt, zur mechanischen Abschirmung des Knochens durch das Metallimplantat und somit zur Störung des Gleichgewichtes im Knochengewebe zwischen spannungsinduziertem Auf- und Abbau (Wintermantel und Ha, 1996).

Aus diesen Gründen begann Anfang der siebziger Jahre die Erforschung resorbierbarer Osteosynthesematerialien (Wintermantel und Ha, 1996). Diese Werkstoffe nennt man biodegradable Polymere und sie stellen eine Untergruppe der in der Medizin eingesetzten biokompatiblen Polymere dar.

Die Degradation der biodegradablen Polymere erfolgt durch vier unterschiedlichen Mechanismen: a) Polymerauflösung, b) unspezifische Hydrolyse, c) enzymatische Degradation sowie d) Dissoziation von Polymer-Polymer-Komplexen. In allen vier Fällen ist die Einbindung der aus der Degradation entstandenen Produkte in den Körpermetabolismus erwünscht. Damit eine Elimination über die normalen Ausscheidungswege möglich ist, sollte das Molekulargewicht dieser Degradationsprodukte geringer als 40.000-50.000 g/mol sein (Iordanskii et al., 1994).

Seit den 60er Jahren werden lineare Polylactide und Polyglykolide in der Medizin eingesetzt, vorwiegend als Trägerwerkstoffe für kontrollierte therapeutische Systeme (meist in injizierbarer Form als Hohlkugeln), als Trägerwerkstoffe für Zellen sowie als Nahtmaterial. Das erste biodegradable Polymer, das medizinisch eingesetzt wurde, war Polyglykolsäure (PGA) in Form von resorbierbaren, chirurgischen Fäden.

Poly lactide und Polyglykolide sind aliphatische Polyester und gehören zu den Poly( $\alpha$ -hydroxysäuren). Durch die Variation der Lactid- und Glykolidanteile können PGA/PLA-Copolymere mit unterschiedlichen physikalischen und mechanischen Eigenschaften hergestellt werden (Abb. 2).



*Abb. 2: Chemische Struktur der aliphatischen Polyester Polyglykolsäure (PGA) und Polylactidsäure (PLA).*

Lineare Poly lactide und Polyglykolide werden in der Regel durch eine katalysierte Ringöffnungspolymerisation in der Schmelze bei Temperaturen von 140° bis 180°C hergestellt. Üblicherweise dienen als Katalysatoren hierzu Zinnoktoate oder Zinnhexanoate.

Poly lactide können als D(-)-Lactide oder als L(+)-Lactide vorliegen. Die D(-)-Lactide entstehen durch Vergärung von Melasse, einem stärkehaltigen Nebenprodukt der Zuckerherstellung, mit *Bacillus acidi laevolactiti* oder durch Fermentation von Glucose durch *Lactobacillus leichmannii*. Die L(+)-Lactide lassen sich durch Vergärung von Melasse durch *Penicillium glaucum* oder durch Fermentation von Glucose durch *Lactobacillus delbrueckii* synthetisieren. Als Naturprodukte kommen sie aber auch im Blut, im Muskelserum, in der Galle, in den Nieren und in anderen Organen von Säugetieren vor. Durch den Abbau von Glucose (Glykolyse) bildet sich L(+)-Lactid (Milchsäure) in Muskeln, die kurzzeitig hoch beansprucht werden. Dabei werden zwei Moleküle Adenosintriphosphat (ATP) erzeugt, welche direkt zum Antrieb der Muskelkontraktion dienen. Das Racemat DL( $\pm$ )-Lactid entsteht in der Milch durch Lactidbakterien, kommt aber auch in Früchten und Pflanzen durch teilweise Vergärung des Zuckers vor (Wintermantel und Ha, Biokompatible Werkstoffe und Bauweisen, Springer-Verlag, 1996).

Die mechanischen Eigenschaften von Polylactiden und Polyglykoliden hängen hauptsächlich von: a) Molekulargewicht, b) Kristallinitätsgrad und c) Anteil der Copolymere ab.

Der Abbau von Poly( $\alpha$ -hydroxysäuren) erfolgt hydrolytisch. Bei der Hydrolyse wird der Abbau in der Regel durch die Diffusion von H<sub>2</sub>O kontrolliert. Die Degradationskinetik ist in erster Näherung unabhängig von der exponierten Oberfläche. Die hydrolytische Degradation kann durch Temperatur, durch Säuren und Basen sowie durch Enzyme katalysiert werden. Die Hydrolyse erfolgt durch Spaltung der Esterbindung unter Bildung von Alkohol- und Säureendgruppen (umgekehrte Veresterung). Aliphatische Polyester sind in Vergleich zu aromatischen Polyester empfindlicher gegen Hydrolyse.

In einem späteren Stadium der Degradation von Poly( $\alpha$ -hydroxysäuren) ist eine enzymatische Aktivität involviert. Sie findet in der Regel an spezifischen Gruppen, die vom Enzym erkannt werden statt. Dabei kann sie je nach Enzym hydrolytisch, oxidativ oder durch direkte Kettenspaltung erfolgen. Da Enzyme aufgrund ihres hohen Molekulargewichts nicht in das Polymer diffundieren können, wird die Degradationskinetik bei der enzymatischen Degradation, im Gegensatz zur Hydrolyse, durch die adsorptiv zugängliche Oberfläche kontrolliert. Dabei wird vermutet, dass das durch den enzymatischen Abbau im menschlichen Körper entstandene Kohlendioxid hauptsächlich über die Lungen ausgeschieden wird (Vert et al., 1992).

Versuche *in vivo* mit in subkutanem Gewebe von Ratten eingepflanzten PGA-Fasern ergaben eine innerhalb von vier Wochen nahezu 100%-ige Abnahme ihrer mechanischen Eigenschaften. Nach weiteren drei Wochen wurde eine vollständige Desintegration des Polymers beobachtet. In derselben Untersuchung zeigte PLA im Vergleich dazu nach einer Implantationsdauer von sechs Monaten einen Gewichtsverlust von lediglich 10% (Vert et al., 1992).

Bei der Degradation von PLA *in vitro* in einer nicht gepufferten wässrigen Lösung wurde mittels Gelpermeations-Chromatographie (GPC) die Bildung einer bimodalen Molekulargewichtsverteilung beobachtet (Vert et al., 1992). Es wurde daraus

gefolgert, dass die Oberfläche von PLA, die in Kontakt mit dem umgebenden wässrigen Medium steht, sich mit einer geringeren Degradationsrate abbaut als das Bauteilinnere. Dies gab Grund zur Annahme, dass die relativ langsam degradierende Oberfläche als eine semi-permeable Membran wirkt, durch welche die im Werkstoffinnern erzeugten Degradationsprodukte nicht nach außen transportiert werden können. Die ansteigende Konzentration von Alkohol- und Carboxylgruppen enthaltenden Degradationsprodukten kann den Abbau katalysieren (autokatalytische Degradation). So erfolgt die Degradation hauptsächlich vom Bauteilinnern her. Diese Beobachtung wurde sowohl bei Polylactiden wie auch bei Hohlkugeln (microspheres) aus PLA/PGA-Copolymeren gemacht (Kenley et al., 1987; Vissher et al., 1985).

Es gibt viele Studien bei denen die Biokompatibilität von Polylactiden und Polyglykoliden untersucht worden ist. Bereits 1966 wurde nach Implantation von Polylactid in Pulverform das Auftreten von geringen Entzündungsreaktionen innerhalb einer Woche beobachtet (Vert et al., 1992). Die Reaktionszone beschränkte sich jedoch auf einer dünnen Schicht von polymorphonukleären Leukozyten und einigen Lymphozyten. Am Ende der ersten Woche bildeten sich Riesenzellen im frühen Stadium. Nach rund vier Wochen Implantationszeit beobachtete man die Bildung von Bindegewebe und es wurde keine fortschreitende Entzündungsreaktion am Implantationsort festgestellt. Nach vierwöchiger Implantation von Polylactidfolien hatte sich das Aussehen des Implantates verändert. Das dünne und transparente Material befand sich nun in einem opaken und gequollenen Zustand. Zudem hatten sich eine dünne Kollagenschicht, eine aktive Fibroblast-Proliferation und einige Blutgefässkanäle gebildet. In derselben Arbeit wurde beschrieben, dass weder im Urin noch in den untersuchten Organen signifikante Mengen an Degradationsprodukten feststellbar waren. Die Autoren vermuteten, dass das degradierte Polymer in Form von Kohlendioxid über die Lungen mit der Atmung ausgeschieden worden war. Diese Beobachtungen wurden in weiteren Publikationen bestätigt (Brady et al., 1973; Miller et al., 1977; Hench und Ethridge, 1982; Gerlach, 1993).

Biokompatibilitätsuntersuchungen von Polyglykolid-Nahtfäden wurden in den frühen siebziger Jahren durchgeführt (Frazza und Schmitt, 1971). Man fand heraus, dass nach zwei Jahren das implantierte PGA komplett degradiert war. Es folgte eine



Vielzahl von *in vivo*-Untersuchungen mit PGA und in keinem Fall wurde von einer schweren Fremdkörperreaktion berichtet (Vert et al., 1992).

Polyglykolsäure (PGA) erwies sich als ungeeignet für den Einsatz als Osteosynthesematerial, weil sie relativ rasch resorbiert wird. Aus dieser Hinsicht ist die stabilere Polylactidsäure (PLA) dafür mehr geeignet. Untersuchungen *in vivo* von PLA mit unterschiedlichem Molekulargewicht haben gezeigt, dass nach einer Implantationszeit von 48 Wochen die Implantate mit niedrigerem Molekulargewicht (89.000 g/mol) schneller degradierten als diejenigen mit höherem Molekulargewicht (199.000 und 294.000 g/mol) (Chawla und Chang, 1985).

Bei hochkristallinem PLA sind in Untersuchungen *in vivo* Komplikationen aufgetreten, welche teilweise eine Entfernung der Implantate nötig machten (Gerlach, 1993). Die Entzündungsreaktionen um das PLA-Implantat werden auf die Anwesenheit von Kristalliten und auf die durch die Degradation verursachte pH-Senkung (saurer Abbau) zurückgeführt (Suganuma und Alexander, 1993).

Das theoretisch ideale resorbierbare Osteosynthesesystem sollte ausreichende Stabilität besorgen und die osteotomierten Knochenfragmente solange fixieren bis die natürliche Knochenheilung erfolgt ist. Danach sollte es schnellstmöglich an Masse verlieren und letztlich sich komplett auflösen. Wie gesagt, ist Polyglykolsäure als Osteosynthesematerial ungeeignet, da sie sehr schnell resorbiert wird, bevor die Knochenheilung erfolgt ist. Andererseits, bietet Polylactidsäure die erforderliche Stabilität, hat aber eine verhältnismäßig langsame Degradationsgeschwindigkeit, weist also auch monatelang nach erfolgter Knochenheilung nicht den erwünschten Massenverlust auf.

Die erwünschten Eigenschaften eines resorbierbaren Osteosynthesystems werden erlangt, indem man Polyglykolsäure (PGA) und Polylactidsäure (PLA) kombiniert. Die daraus entstehenden Produkte nennt man PGA/PLA-Copolymere. Zu dieser Kategorie von Osteosynthesematerialien gehören die unter dem Produktnamen LactoSorb® bekannten Platten- und Schraubensysteme, sowie die so genannten Isosorb®-Schrauben. Bei LactoSorb® handelt es sich um ein lineares amorphes Copolymer aus 82% Poly-L-Lactidsäure und 18% Polyglykolsäure. Isosorb besteht

aus einem Polymerblend mit 86% L-Lactidanteil und 14% D-Lactidanteil. Beide Produkte werden im Spritzgussprozess hergestellt.

Die resorbierbaren Osteosynthesematerialien werden in ihrer großen Mehrzahl in der Dysgnathie- und Gesichtschirurgie verwendet. Beliebte Einsatzgebiete der degradablen Implantate sind die geringbelasteten Partien des Schädels, wie das Jochbein, das Schädeldach und die Maxilla (Wintermantel und Ha, 1996).

Abgesehen davon aber, kommen resorbierbare Implantate in der Orthopädie vielseitig zum Einsatz. Einige Beispiele aus der Fachliteratur sind: die Versorgung einfacher Malleolenfrakturen mit PGA/PLA-Copolymer-Implantaten (Rokkanen et al., 1985 und Böstman et al., 1989), der Gebrauch von resorbierbaren Implantaten als Osteosynthesematerial in Zwei- oder Dreifachbrüchen des Sprunggelenks (Hirvensalo, 1989; Dijkema et al., 1993; Springer et al., 1998; Partio et al., 1992), der Einsatz von PLA- und PGA-Schrauben für talokrurale Arthrodesen (Partio et al., 1992), die Durchführung von Arthrodesen mit resorbierbaren Implantaten bei Kindern mit Hinterfuß-Valgus-Deformitäten aufgrund neuromuskulärer Erkrankungen (Partio et al., 1992), die Arthrodesen des ersten Metatarsophalangealgelenks bei rheumatoider Arthritis mit PLA-Implantaten (Niskanen et al., 1993), die Fixation von Kondylenfrakturen des distalen Femurs oder bei Osteochondritis dissecans (Partio et al., 1997), die Fixation eines Knochen-Sehne-Knochen-Grafts durch abbaubare Interferenzschrauben in der Kreuzbandrekonstruktion (Tuompo et al., 1999 und Lajtai et al., 1999), der Gebrauch von PGA-Nägeln zur Fixation von dislozierten Frakturen des Radiuskopfes und -halses (Hirvensalo et al., 1990), sowie bei Humeruskopffrakturen (Hirvensalo et al., 1993), die Versorgung von Ausrissverletzungen des ulnaren Kollateralbandes am ersten Metakarpalgelenk mit Nägeln aus resorbierbarem Material (Vihtonen et al., 1990), die Fixierung der ulnaren Kollateralbänder durch PLA-Stifte (Vihtonen et al., 1993), die Versorgung von Metakarpalfrakturen mit PGA/PLA-Copolymer-Implantaten (Prevel et al., 1996), der Einsatz von PGA-Nägeln, welche die Epiphysenfuge überbrücken, bei Kindern (Böstman et al., 1989 und Mäkelä et al., 1990).

Bei einer Untersuchung wurden resorbierbare Schrauben (2,0 mm Durchmesser, LactoSorb®) mit Metallschrauben (2,0 mm Durchmesser, Synthes) verglichen, in

Bezug auf ihrer Stabilität bei der internen Fixation von distalen Osteotomien des fünften Metatarsalknochens nach Chevron. Die Osteotomien wurden an vergleichbaren Exemplaren an Leichen durchgeführt. Es zeigte sich, dass die LactoSorb®-Schrauben die gleiche Stabilität aufweisen wie die üblich verwendeten Metallschrauben (Leonard und Stuck, 2000).

Die vorliegende Untersuchung dient zur Analyse der ersten Ergebnisse verschiedener Operationsverfahren zur Korrektur von Vorfußdeformitäten, wobei nicht wie in der Fußchirurgie üblich Metallimplantate, sondern resorbierbare PGA/PLA-Copolymer-Implantate (LactoSorb®) eingesetzt worden sind.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Vorfußdeformitäten**

Für diese Untersuchung sind Patienten mit folgenden Diagnosen operativ behandelt worden: 1) Hallux valgus, 2) Metatarsus primus varus, 3) Hallux rigidus, 4) Hallux valgus interphalangeus, 5) Digitus quintus varus, 6) Metatarsus quintus valgus, 7) Hammerzehen, 8) Krallenzehen, 9) Metatarsalgiesyndrom.

#### 2.1.1 Hallux valgus

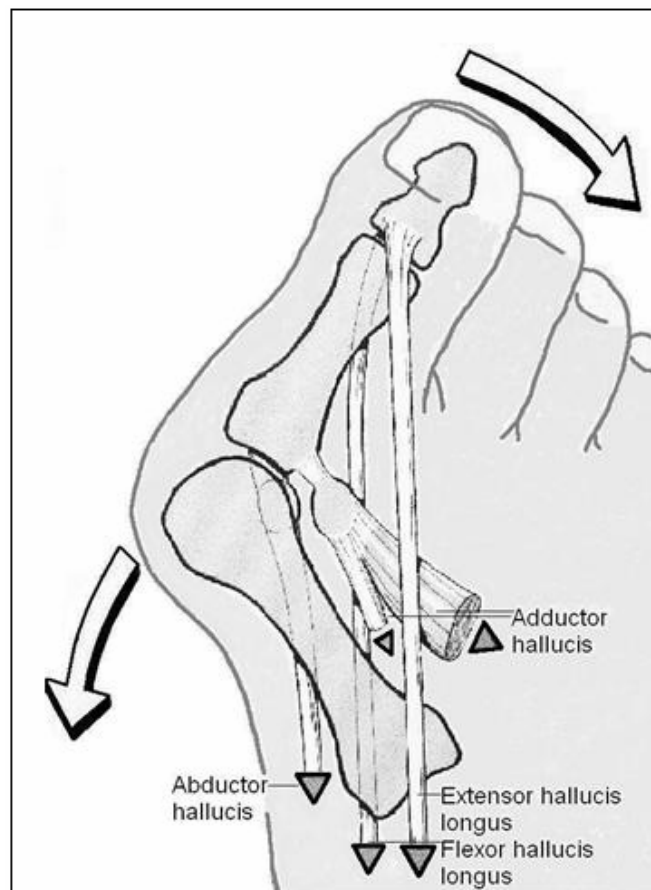
Der Hallux valgus stellt die häufigste Vorfußdeformität dar. Ihre genaue Inzidenz ist nicht bekannt, da sich meistens die Patienten erst bei erheblichen Schmerzen in Behandlung begeben. Man unterscheidet zwischen dem juvenilen Hallux valgus und dem weitaus häufiger vorkommenden Hallux valgus beim Erwachsenen. Die Deformität tritt in ihrer großen Mehrzahl bei Frauen auf und nimmt mit steigendem Alter zu.

Unter Hallux valgus versteht man eine Achsenfehlstellung der Großzehe. Der Begriff wurde im Jahre 1871 von Carl Hueter eingeführt und beschreibt eine statische Subluxation des ersten Metatarsophalangealgelenkes, wobei eine laterale Abweichung der Großzehe und eine mediale Abweichung des ersten Metatarsalknochens zu beobachten sind (Abb. 3).

Eine exakte radiologische Definition des Hallux valgus besteht nicht. Laut Eulert (1986) ist ein Metatarsophalangealwinkel des ersten Strahles erst ab 20° als pathologisch anzusehen, Mann (1986) hingegen setzt die oberste Grenze des physiologischen bei 15°.

Roger Mann (1998) hat eine Reihe von Veränderungen beschrieben, welche durch die laterale Verlagerung der Großzehe am ersten Metatarsophalangealgelenk stattfinden.

Dabei beschreibt er eine Kontraktur auf der lateralen Seite der Gelenkkapsel, eine Ausweitung der Kapsel auf der medialen Seite, eine unterschiedlich große Pseudoexostose am distalen Metatarsale I, einen vergrößerten Intermetatarsalwinkel M I – M II, und eine fehlende Deckung der Sesambeine durch den Metatarsale I-Kopf. Bei zunehmender Deformität kann eine Transfermetatarsalgie unter dem Metatarsale II-Köpfchen entstehen. Dies äußert sich klinisch durch eine plantare Hyperkeratose der Haut unter dem Metatarsale II-Köpfchen, was für eine hohe Druckbelastung dieser Stelle spricht. Die Funktionseinschränkung der Großzehe führt zu einer reduzierten Lastaufnahme und zu einer Störung der Biomechanik des Fußes. Über der Metatarsale I-Pseudoexostose ist häufig ein entzündlich vergrößerter, subkutan gelegener Schleimbeutel nachweisbar (Schreiber, 1976).



*Abb. 3: Schematische Darstellung der Pathomechanik des Hallux valgus (bearbeitetes Bild, Vorbild aus Praxis der Orthopädie, M. Jäger / C.J. Wirth, 1992).*

Die klinischen Symptome des Hallux valgus äußern sich hauptsächlich mit Schmerzen im Bereich der medialen Prominenz. Daraus ergeben sich

Einschränkungen in der Gehfähigkeit, sowie im Tragen von Konfektionsschuhen. Als Folge des Druckes vom Schuhwerk gegen den dorsalen medialen Hautnerv des Fußes können Dysästhesien im Hallux resultieren.

### 2.1.2 Metatarsus primus varus

Unter Metatarsus primus varus versteht man die Achsenabweichung des Metatarsale I nach medial. Diese Deformität steht in engem Zusammenhang mit dem Hallux valgus. An der Entstehung des Metatarsus primus varus ist das Tarsometatarsalgelenk maßgeblich beteiligt (Wanivenhaus, 1989 und Wülker, 1997). Man spricht von einem Metatarsus primus varus wenn der Intermetatarsalwinkel M I – M II größer als  $9^\circ$  ist (Mann, 1986). Dabei weichen die Metatarsalia auseinander, was zur Verbreiterung des Vorfußes führt (Debrunner, 1986).

### 2.1.3 Hallux rigidus

Der Hallux rigidus ist eine arthrotisch bedingte schmerzhafte Bewegungseinschränkung des Großzehengrundgelenks (Zollinger, 1991). Diese Erkrankung ist nach dem Hallux valgus die zweithäufigste Ursache für Beschwerden an der Großzehe (Gould, 1981). Der Hallux rigidus wurde bereits 1881 von Nicoladoni als „Hallux flexus“ beschrieben. Eine Reihe anderer Bezeichnungen wurden seither verwendet um diese Erkrankung zu beschreiben, wie z.B. „Hallux dolorosus“, „dorsaler Ballen“, „Hallux limitus“, „Hallux arthriticus“ und „Hallux equinus“. Der Begriff „Hallux rigidus“ hat sich seit Cotterill (1887) durchgesetzt.

Die initiale Bewegungseinschränkung des Großzehengrundgelenks betrifft vor allem die Dorsalextension. Bei Palpation ist das Gelenk meist schmerzhaft und oft sind dorsal am Metatarsale I-Kopf Osteophyten tastbar. Beim Durchbewegen des Gelenkes zeigt sich außer der eingeschränkten Dorsalextension auch Krepitation der aneinander reibenden Knochenenden. Das erste Metatarsophalangealgelenk ist synovial verdickt und vergrößert.

Beim Hallux rigidus bleibt unabhängig vom Stadium der Erkrankung die gerade Achsenausrichtung der Großzehe im Regelfall erhalten (Cracchiolo III, 1998). Nur

wenige Patienten weisen gleichzeitig eine Valgusdeformität der Großzehe auf. In diesen Fällen spricht man von einem Hallux valgus et rigidus.

#### 2.1.4 Hallux valgus interphalangeus

In manchen Fällen ist das erste Metatarsophalangealgelenk physiologisch ausgerichtet und trotzdem ist eine Valgusdeformität der Großzehe zu beobachten. Hierbei handelt es sich entweder um: a) eine Deformität der proximalen Phalanx der Großzehe oder b) eine Fehlstellung der distalen Phalanx in Bezug auf der proximalen. Als normal zu betrachten ist laut Roger Mann (1998) ein Interphalangealwinkel von weniger als  $10^\circ$ , laut Hodler und Zanetti (2003) von weniger als  $8^\circ$ . Der Interphalangealwinkel wird durch die halbierende Linie der Basis der proximalen Phalanx und der Längsachse der proximalen Phalanx gebildet. Bei einigen Patienten sind sowohl der Hallux-valgus-Winkel als auch der Interphalangealwinkel pathologisch.

#### 2.1.5 Digitus quintus varus

Der Digitus quintus varus stellt das Spiegelbild des Hallux valgus dar. Im Regelfall kommt es beim Spreizfuß durch das Abspreizen des 5. Strahls zu vermehrtem Druck auf das Metatarsale V-Köpfchen von lateral. Die Kleinzehe schiebt sich dabei in Varusstellung. Dies hat zu Folge, dass auch auf das Grundgelenk vermehrt Druck ausgeübt wird und es zu Entzündungserscheinungen und Bursabildung über dem lateralen Metatarsalköpfchen kommt. Die Patienten klagen über den lästigen seitlichen Druck im Schuh. Die Auswahl des operativen Verfahrens zur Therapie des Digitus quintus varus hängt im Wesentlichen davon ab ob ein Metatarsus quintus valgus die Deformität begleitet oder nicht (Meyer, 2003).

#### 2.1.6 Metatarsus quintus valgus

Der Metatarsus quintus valgus ist eine häufige Vorfußdeformität, wird jedoch viel seltener operativ behandelt als der Hallux valgus. Er ist bei Frauen häufiger aufzufinden als bei Männern und ist meistens beidseitig vorhanden (Du Vries, 1973).

In einer Reihe von Patienten stellten Kitaoka et al. (1989) fest, dass der Metatarsus quintus valgus die häufigste von den drei Ursachen des Kleinzehebalkens oder Schneiderballens ist (wird als Typ 3 bezeichnet). Die anderen zwei sind: a) ein vergrößerter Durchmesser des Metatarsale V-Köpfchens (Typ 1) und b) eine Ausbiegung des Metatarsale V nach lateral (Typ 2).

Der Metatarsus quintus valgus kommt häufig in Kombination mit einem Hallux valgus und einem Spreizfuß vor. Dies deutet auf eine Insuffizienz des queren Anteils des Musculus adductor hallucis hin (Diebold, 2003).

Bei der Deformität des Metatarsus quintus valgus ist radiologisch ein vergrößerter Intermetatarsalwinkel M IV – M V zu beobachten. Es gibt in der Fachliteratur unterschiedliche Aussagen, ab wann ein Intermetatarsalwinkel M IV – M V als pathologisch anzusehen ist. Laut Roger Mann (1998) können auch Winkel, die über 8° betragen und generell als nicht physiologisch betrachtet werden, unsymptomatisch sein und keine operative Korrektur brauchen. Hierbei ist primär die Klinik ausschlaggebend und nicht der radiologisch gemessene Winkel.

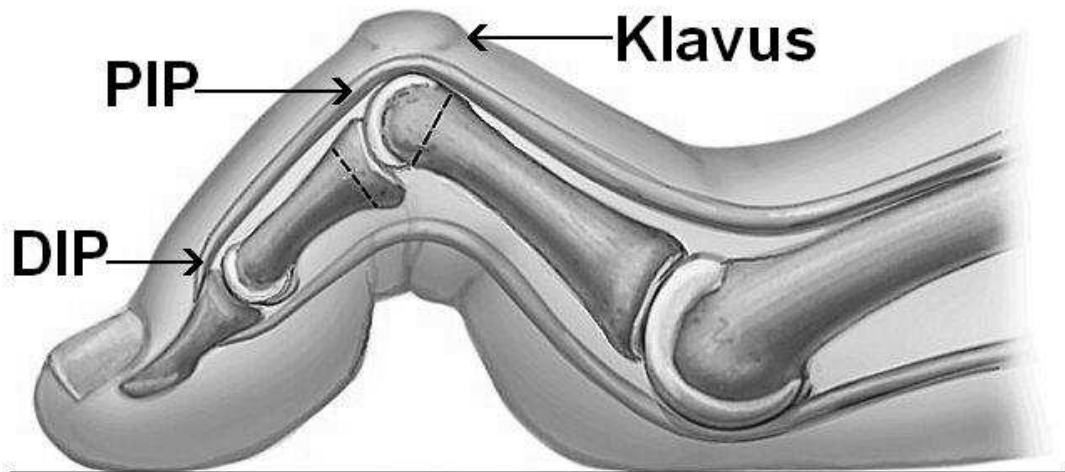
#### 2.1.7 Hammerzehen

Die Hammerzehenstellung stellt die häufigste Kleinzehendeformität dar. Sie ist charakterisiert durch eine vermehrte Extension im Metatarsophalangealgelenk (MP), eine Hyperflexion des proximalen Interphalangealgelenkes (PIP) und einer Hyperextension des distalen Interphalangealgelenkes (DIP). Diese Deformität ist am häufigsten an der 2. Zehe zu sehen, sämtliche übrigen Zehen können aber im gleichen Sinne verändert sein. Patienten mit Hammerzehen klagen über Druck über dem proximalen Interphalangealgelenk und weisen dort häufig eine Rötung oder Verhornung (Klavus) auf (Abb. 4).

Man unterscheidet zwischen fixierten oder flexiblen Hammerzehen je nachdem, ob sie passiv in Neutralstellung korrigiert werden können oder nicht. Eine fixierte (rigide) Hammerzehe kann nicht mehr gerade gestellt werden. Diese Unterscheidung ist für das chirurgische Vorgehen von großer Wichtigkeit. Außerdem kann eine



Subluxation oder sogar Dislokation im Metatarsophalangealgelenk den operativen Behandlungsplan entscheidend beeinflussen.



*Abb. 4: Schematische Darstellung einer Hammerzehe (bearbeitetes Bild, Vorbild aus der Homepage der Illinois Podiatric Medical Association, [www.ipma.net](http://www.ipma.net)).*

Die Ursache für die Entstehung der Hammerzehen ist multifaktoriell. In den meisten Fällen sind sie erworben und seltener angeboren. Schlecht sitzendes Schuhwerk mit einem schmalen Vorfußbereich und hohen Absätzen, das über Jahre den Fuß in seiner Bewegungsfreiheit beeinträchtigt, hat einen wichtigen Anteil an den erworbenen Fußveränderungen und sicherlich nehmen mit wachsendem Alter die Krankheitsbilder mit entsprechenden Beschwerden zu (Meyer, 2003).

Ein weiterer Faktor ist eine Hallux valgus-Deformität, welche die zweite Zehe im Metatarsophalangealgelenk in Dorsalextension drückt. Eine Kontraktur des Musculus flexor digitorum longus führt dann sekundär zur Hammerzehe. Auch eine überlange zweite Zehe (griechische Fußform) oder eine Überlänge der Metatarsalia II und III können durch den resultierenden Schuhdruck Hammerzehen zur Folge haben (Scheck, 1977 und Thomson 1995).

Außerdem können auch statische Fehlstellungen des Fußes, wie z.B. ein Spreizfuß oder ein Hohlfuß zu Hammerzehen führen (Meyer, 2003). In seltenen Fällen tritt die Zehenfehlstellung im Rahmen neuromuskulärer Grunderkrankungen auf, z.B. bei der Charcot-Marie-Tooth-Erkrankung, der Friedreich-Ataxie, der Zerebralparese und bei

der Multiplen Sklerose. Weiterhin werden Hammerzehen bei der komplexen rheumatischen Vorfußdeformität angetroffen (Coughlin und Mann, 1998).

Am Anfang der Pathogenese von Hammerzehen steht eine Schwächung der intrinsischen Muskulatur. Diese führt zur Dorsalextension im Metatarsophalangealgelenk, welche zunächst durch eine vermehrte Spannung der Beugesehnen ausgeglichen wird. Eine kompensatorisch vermehrte Aktivität der Strecksehnen verstärkt die Dorsalextension im Metatarsophalangealgelenk, was schließlich das typische Erscheinungsbild einer Hammerzehe zur Folge hat (Fuhrmann und Roth, 1998).

#### 2.1.8 Krallenzehen

Als Krallenzehe bezeichnet man die Deformität, bei der das Metatarsophalangealgelenk (MP) hyperextendiert und das proximale (PIP) sowie das distale Interphalangealgelenk (DIP) hyperflektiert sind. Diese Abnormität befällt häufig alle Kleinzehen und kann auch an der Großzehe angetroffen werden (Hallux malleus). Pathogenese und Ursachen sind gleich wie bei den Hammerzehen, Krallenzehen können aber öfter neuromuskulären Ursprungs sein und treten sehr häufig als Begleiterscheinung des Hohlfußes auf. Hyperkeratosen als Folge von Druck entwickeln sich wie bei den Hammerzehen ebenfalls über dem proximalen Interphalangealgelenk, sind aber bei den Krallenzehen häufig auch über die Zehenkuppe anzutreffen. In fortgeschrittenen Stadien hat die Zehenkuppe keinen Bodenkontakt mehr, so dass es dadurch zu Überlastungen der Metatarsalköpfchen kommen kann (Meyer, 2003).

#### 2.1.9 Metatarsalgiesyndrom

Als Metatarsalgie bezeichnet man Schmerzen am Vorfußballen, das heißt Schmerzen plantar am Vorfuß unter den Metatarsalköpfchen. Eine ganze Reihe von Grunderkrankungen kann zu Metatarsalgie führen und oft ist die Ursache mehr als nur eine. Metatarsalgie ist vermehrt anzutreffen bei Patienten mit Adipositas, mit Diabetes mellitus, mit entzündlichen Gelenkerkrankungen (Arthritis), mit neurologischen Problemen oder Gefäßerkrankungen. Von den Fußerkrankungen

können Hohlfußdeformitäten, Achillessehnenverkürzung oder Hyperpronation des Fußes zu Metatarsalgie führen. Außerdem, wie bereits erwähnt, können Probleme des ersten Strahles, wie z.B. Hallux valgus, Hallux rigidus oder eine hervorgegangene Operation am ersten Strahl, die Ursache für plantare Schmerzen im Vorfußbereich sein. Ein anderer Grund, der zu Metatarsalgie führen kann, ist das so genannte „Malalignment“ der Metatarsalia. Dabei sind die Längenverhältnisse der Metatarsalknochen zu einander nicht ideal, so dass keine harmonische Gewichtsverteilung während der Belastung des Fußes stattfinden kann. Dies führt zur Überlastung bestimmter Metatarsalköpfchen und zur Entstehung plantarer Hyperkeratosen, woran man die Druckstellen gut erkennen kann. Eine häufige Ursache der Metatarsalgie stellt das Morton-Neurom dar. Letztendlich, sind Hammer- oder Krallenzehen sowie Instabilität des Metatarsophalangealgelenkes (MP) mit Subluxation oder Luxation der Kleinzehen oft ein Grund vermehrter Druckausübung auf das Metatarsalköpfchen, was auch Metatarsalgie zu Folge hat.

## **2.2 Operationstechniken**

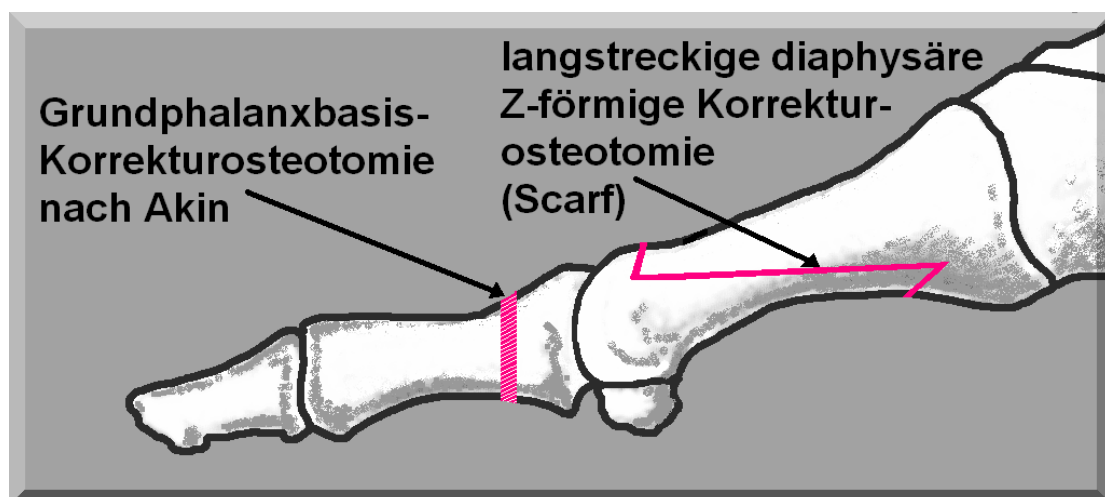
Zur Korrektur der oben beschriebenen Vorfußdeformitäten sind bei dieser Untersuchung folgende Operationstechniken angewendet worden: 1) Scarf-Osteotomie am Metatarsale I, 2) Chevron-Osteotomie am Metatarsale I, 3) Akin-Osteotomie an der Großzehengrundphalanx, 4) Scarf-Osteotomie am Metatarsale V, 5) Chevron-Osteotomie am Metatarsale V, 6) Arthrodesese oder Arthroplastik des proximalen (PIP) oder distalen Interphalangealgelenkes (DIP) der Kleinzehen, 7) Weil-Osteotomie an den Metatarsalia II bis V.

### **2.2.1 Scarf-Osteotomie am Metatarsale I**

Bei der Scarf-Osteotomie handelt es sich um eine langstreckige diaphysäre Z-förmige Korrekturosteotomie. Die Bezeichnung „Scarf“ stammt von einer Technik, die Zimmerleute für eine Winkelverbindung von Balken verwenden. Die erste Z-förmige Osteotomie der Diaphyse wurde 1926 von Meyer beschrieben. Diese Form der Osteotomie hat bis heute große Verbreitung erlangt (Buruturan, 1976, Barouk, 1990, Borelli und Weil, 1991). Sie kann bei Deformitäten mit einem Intermetatarsalwinkel

M I – M II von 14° bis 20° angewendet werden. Ziel ist es den Metatarsus primus varus zu verringern und die Stellung der Gelenkfläche am Metatarsale I-Kopf im Verhältnis zur Schaftachse zu korrigieren. Zusätzlich können die Länge und die dorsoplantare Orientierung des Metatarsale I korrigiert werden.

Die Scarf-Osteotomie am Metatarsale I allein kann jedoch nicht alle Elemente der Hallux valgus-Fehlstellung korrigieren. Deswegen wird sie in der Regel mit einer Pseudoexostosenabtragung am Metatarsale I, einem lateralen Weichteilrelease am ersten Metatarsophalangealgelenk (Release der lateralen Gelenkkapsel und Ablösen der Sehne des M. adductor hallucis von der Großzehengrundphalanxbasis und von der lateralen Kante des fibularen Sesambeines), einer medialen Kapselraffung (um den Sesambeinkomplex wieder unter dem Metatarsale I-Kopf zu rezentrieren) und einer Akin-Osteotomie an der Großzehengrundphalanx kombiniert (Abb. 5).

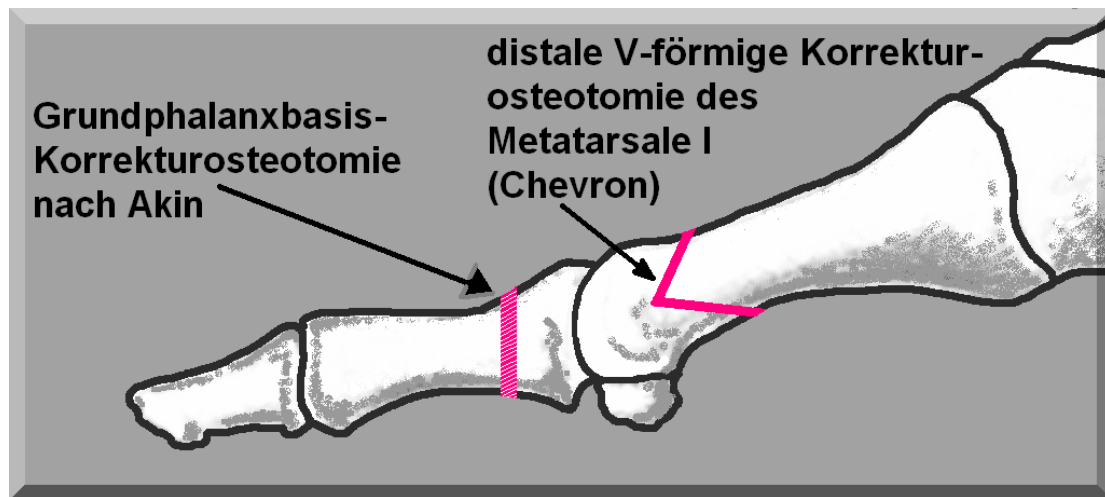


*Abb. 5: Mediale Ansicht der Anordnung der Scarf-Osteotomie am Metatarsale I in Kombination mit einer Akin-Osteotomie an der Großzehengrundphalanxbasis.*

Die Vorteile der Scarf-Osteotomie am Metatarsale I liegen: a) in der großen Kontaktfläche, welche eine stabile Osteosynthese und eine sofortige postoperative Vollbelastung in einem steifsohligen Schuh erlaubt, b) in der Möglichkeit eine genaue dreidimensionale Korrektur zu planen und durchzuführen und c) in der Tatsache, dass die Blutversorgung des Metatarsale I-Kopfes nicht beeinträchtigt wird (Dutoit, 1998).

### 2.2.2 Chevron-Osteotomie am Metatarsale I

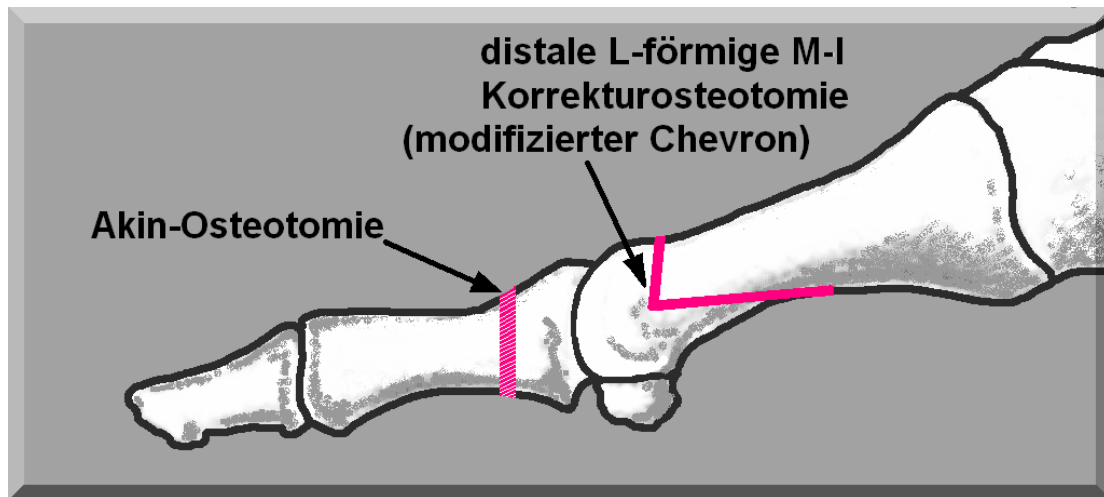
Die Chevron-Osteotomie am Metatarsale I gehört zu der Kategorie der distalen Korrekturosteotomien. Sie ist eine V-förmige Osteotomie und wird am Metatarsale I-Kopf angelegt. Dabei soll der dorsale Schenkel mehr ventral und der plantare Schenkel mehr horizontal liegen (Abb. 6).



*Abb. 6: Mediale Ansicht der Anordnung der Chevron-Osteotomie am Metatarsale I in Kombination mit einer Akin-Osteotomie an der Großzehengrundphalanxbasis.*

Bei der modifizierten Chevron-Osteotomie handelt es sich um eine L-förmige Korrekturosteotomie, bei der der plantare Schenkel horizontaler orientiert ist und langstreckiger verläuft. Sie ist stabiler und kann auch bei mehr ausgeprägten Hallux valgus-Deformitäten angewendet werden. Außerdem ist bei dieser Osteotomie die Blutversorgung des Metatarsale I-Kopfes sicherer, da der plantare Schnitt von der Kapselumschlagfalte, wo sich die zuführenden Gefäße befinden, entfernt ist (Abb. 7).

Nach ihrer Einführung im Jahre 1972 erlangte diese Operationsmethode zunehmend eine große Popularität (Johnson et al., 1979, Austin und Leventen, 1981, Hatstrup und Johnson, 1985, Coughlin, 1991). Dies liegt nicht nur an ihrer relativ einfachen Durchführung, sondern auch an den guten Ergebnissen, die mit dieser Methode erzielt werden können, wenn die Hallux valgus-Deformität nicht besonders ausgeprägt ist.



*Abb. 7: Mediale Ansicht der Anordnung der modifizierten Chevron-Osteotomie am Metatarsale I in Kombination mit einer Akin-Osteotomie.*

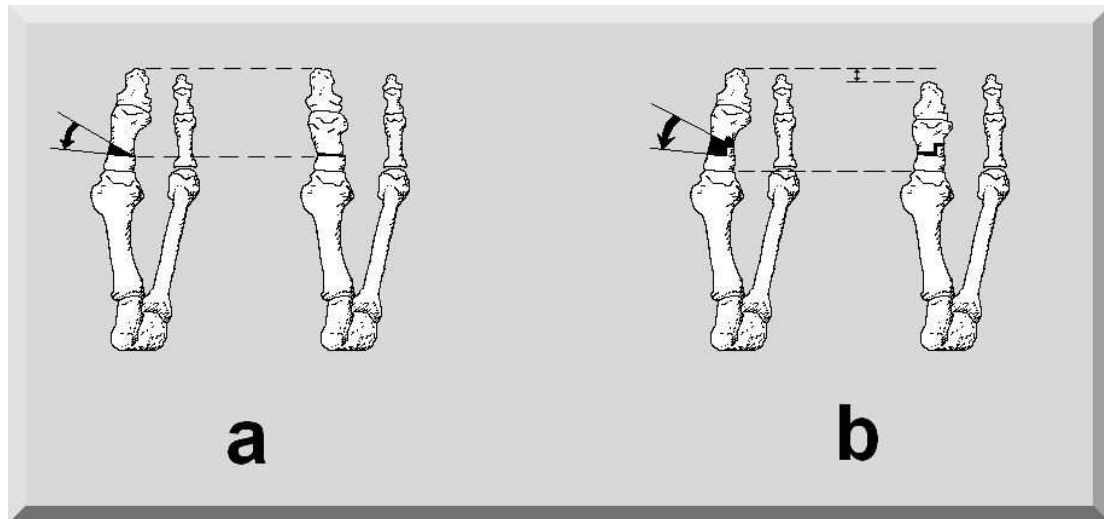
Wie bei der Scarf-Osteotomie am Metatarsale I wird auch die Chevron-Osteotomie oft mit dem bereits beschriebenen distalen Weichteileingriff am ersten Metatarsophalangealgelenk, der Pseudoexostosenabtragung am Metatarsale I und der Akin-Osteotomie an der Großzehengrundphalanxbasis kombiniert (Abb. 6 und 7).

### 2.2.3 Akin-Osteotomie an der Großzehengrundphalanx

Diese Osteotomie wurde im Jahre 1925 von Akin für die Korrektur von Hallux valgus eingeführt. Es handelt sich um eine varisierende und/oder derotierende Osteotomie, die an der proximalen Großzehenphalanx angelegt wird. Wenn sie ohne Verkürzung erfolgt, wird ein Knochenkeil mit medialer oder medioplantarer Basis entnommen. Dabei wird die lateralseitige Kortikalis erhalten. Diese Osteotomie ist relativ stabil und benötigt deshalb keine rigide Fixation. Im Gegensatz dazu ist die verkürzende Akin-Osteotomie (Abb. 8) eher instabil und bedarf einer ausreichend festen internen Osteosynthese.

Die Indikation zur Akin-Osteotomie der Großzehengrundphalanx wird gestellt, nachdem die Kongruenz des ersten Metatarsophalangealgelenkes, die Position der Sesambeine und die Ausrichtung des Metatarsale I korrigiert worden sind und ggf. Eingriffe an den Kleinzehen abgeschlossen sind. Als hilfreich erweist sich hierbei der Test, nachdem durch drücken der Fußsohle des Patienten mit dem Handrücken gegen

die Metatarsale-Köpfe die Großzehenposition im Stand simuliert wird. So können die Varus- oder Valgusposition der Großzehe und ihre Länge im Verhältnis zur zweiten Zehe beurteilt werden.



*Abb. 8: Dorsale Ansicht der Akin-Osteotomie an der proximalen Phalanx der Großzehe vor und nach Schließen der Osteotomie.*

- a) Ohne Verkürzung*
- b) Mit Verkürzung (Modifikation nach Hamel).*

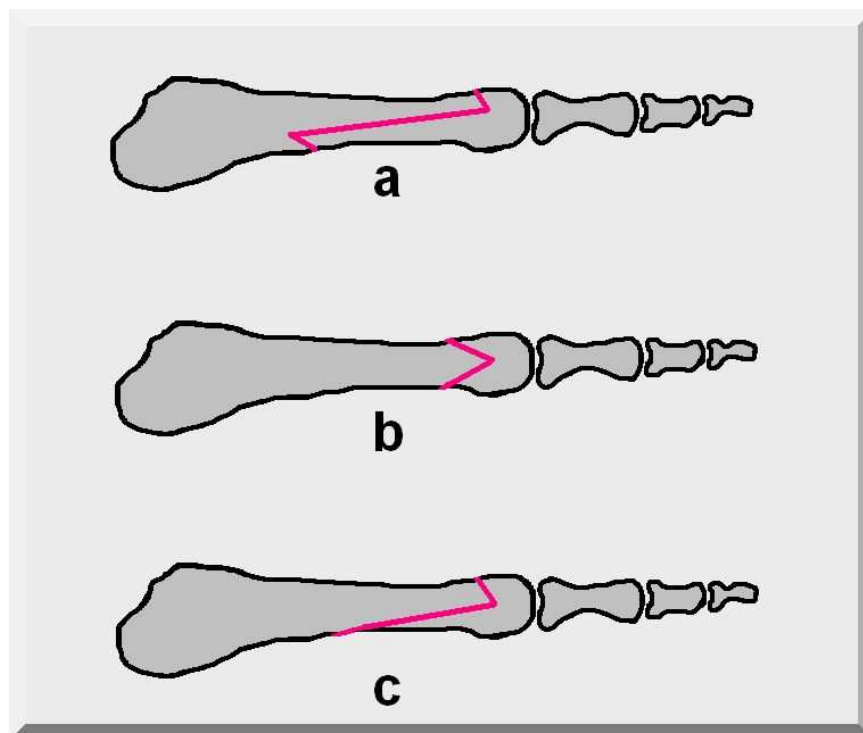
Wenn trotz wiederhergestellter Kongruenz im ersten Metatarsophalangealgelenk die Stellung der Großzehe noch unbefriedigend oder die Großzehe länger als die zweite Zehe ist, kann die Indikation zur Akin-Osteotomie der Großzehengrundphalanx gestellt werden. Dies ist meistens bei ausgeprägter Hallux valgus-Deformität der Fall (Barouk, 1998).

Durch die Akin-Osteotomie erfolgt eine Rezentrierung des beim Hallux valgus lateralisierten Sehnenansatzes des M. extensor hallucis longus.

#### 2.2.4 Scarf- und Chevron-Osteotomie am Metatarsale V

Die bereits für das Metatarsale I beschriebenen Osteotomien finden ihre Anwendung auch am Metatarsale V zur Korrektur des Metatarsus quintus valgus.

Ist die Deformität des Kleinzehebalkens besonders ausgeprägt, wird eine langstreckige, diaphysäre, Z-förmige Korrekturosteotomie am Metatarsale V durchgeführt (Scarf). Bei weniger ausgeprägten Deformitäten ist nach Durchführung einer V-förmigen Chevron-Osteotomie eine Verschiebung des Metatarsale V-Köpfchens um 4-5mm nach medial ausreichend (Diebold, 1998). Ähnlich wie am Metatarsale I kann auch am Metatarsale V die modifizierte, L-förmige Chevron-Osteotomie angewendet werden (Abb. 9).



*Abb. 9:* Laterale Ansicht der Anordnung verschiedener Korrekturosteotomien am Metatarsale V bei Metatarsus quintus valgus.

- a) Scarf-Osteotomie am Metatarsale V.
- b) Chevron-Osteotomie am Metatarsale V.
- c) Modifizierte Chevron-Osteotomie am Metatarsale V.

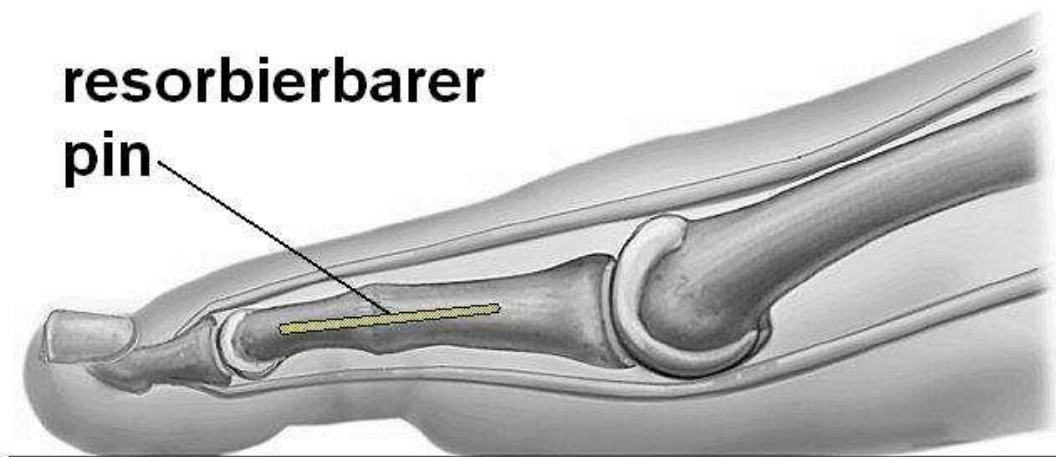
### 2.2.5 Operationen bei Hammerzehen

Die Indikation zur Operation besteht bei kontrakten Hammerzehen, die Schmerzen verursachen, insbesondere Druckbeschwerden im Schuh. Entscheidend für die Wahl der Operationstechnik ist die Position des Metatarsophalangealgelenkes.



Bei neutraler Stellung des Metatarsophalangealgelenkes ist eine Kondylenresektion an der proximalen oder an der mittleren Phalanx indiziert (Johnson, 1989, Kuwada, 1992). Alternativ zur Kondylenresektion an der proximalen oder an der mittleren Phalanx kann eine Arthrodesese am proximalen (PIP) oder am distalen Interphalangealgelenk (DIP) der betroffenen Zehe erfolgen (Alvine und Garvin, 1980, McGlamry, 1992).

Hierzu wird nach der Kondylenresektion die Gelenkfläche der nächsten Phalanx entknorpelt und der Knochen angefrischt. Mit einem resorbierbaren Pin werden die zwei angefrischten Knochenflächen in Kontakt gebracht und die Phalangen in die erwünschte Position gehalten (Abb. 10). In der vorliegenden Untersuchung war in den meisten Fällen eine Fusion des Interphalangealgelenkes erwünscht (PIP- oder DIP-Arthrodesese).



*Abb. 10: Schematische Darstellung einer PIP-Arthrodesese, welche mit einem resorbierbaren Pin stabilisiert worden ist (bearbeitetes Bild, Vorbild aus der Homepage der Illinois Podiatric Medical Association, [www.ipma.net](http://www.ipma.net)).*

*Zum Vergleich siehe auch Abb. 4 (präoperativer Befund).*

Grundsätzlich muss proximal zu den Kondylen reseziert werden, jedoch nicht mehr als ein Drittel der Grund- bzw. Mittelphalanx (Richardson, 1987, Johnson, 1989). Die Resektionsebene soll senkrecht zur Schaftachse liegen. Bei falsch gewählter schräger Resektionsebene kann es später zu einer seitlichen Deviation der Kleinzehe kommen

(Mann und Coughlin, 1993). Die Resektion soll mit einer kleinen oszillierenden Säge durchgeführt werden, da bei der Verwendung eines Luers oder einer Liston-Zange die Gefahr besteht vor allem bei osteoporotischem Knochen, dass der Knochen splittert (Fuhrmann und Roth, 1998).

Wenn gleichzeitig mit der kontrakten Hammerzehe auch eine Subluxation oder Hyperextension des Metatarsophalangealgelenkes besteht, ist die Kondylenresektion der proximalen Phalanx nicht ausreichend. Ein Beugesehnentransfer ist in diesem Fall indiziert. Die Sehne des M. flexor digitorum longus wird längs in zwei geteilt und ihre beiden Zügel werden auf den Streckapparat der betroffenen Kleinzehe versetzt. Sie werden auf beiden Seiten in der Mitte der Grundphalanx und unterhalb des Gefäß-Nerven-Bündels nach dorsal geführt und dort zueinander und mit der Strecksehne unter mäßiger Spannung vernäht. Ziel dieser Technik ist es die intrinsische Muskelaktivität am Metatarsophalangealgelenk und am proximalen Interphalangealgelenk zu ersetzen. Sie wird allgemein auf Girdlestone zurückgeführt (Taylor, 1951).

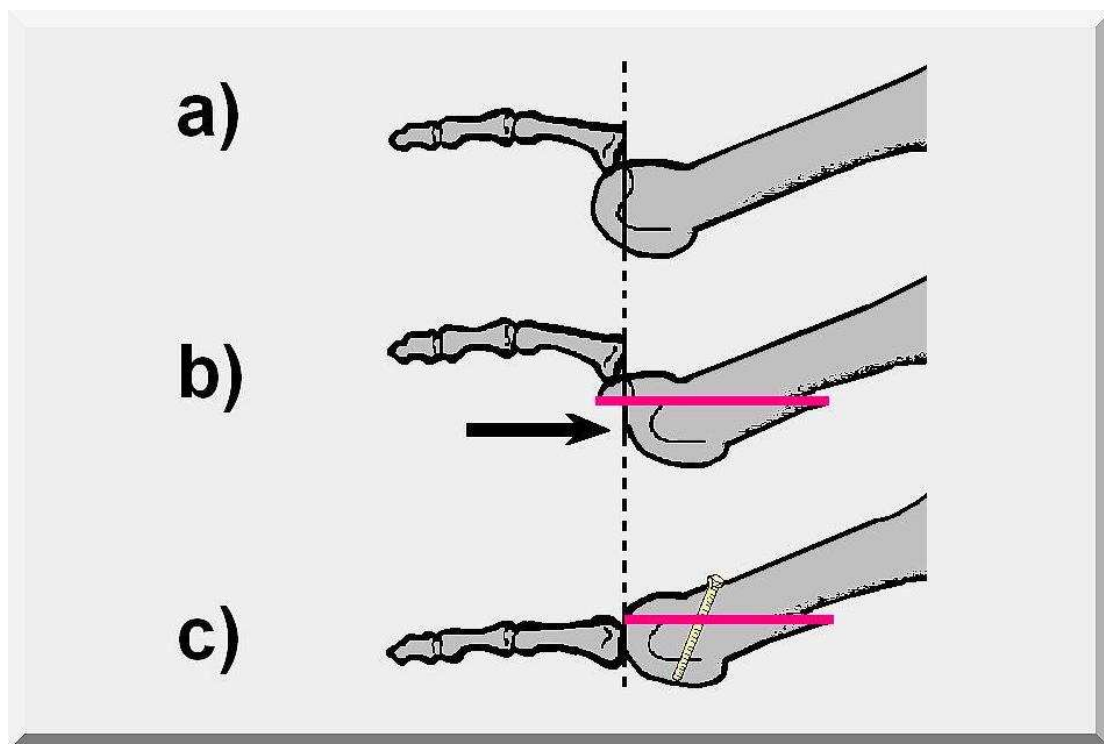
Wenn trotz eines korrekt durchgeführten Beugesehnentransfers die Kleinzehe im Metatarsophalangealgelenk weiter in überstreckter Stellung verbleibt, besteht eine Kontraktur im Metatarsophalangealgelenk, so dass dort in der Regel ein Weichteilrelease erfolgen muss. Hierfür wird der bereits vorhandene dorsale Hautschnitt nach proximal verlängert. Die Sehne des M. extensor digitorum longus wird dargestellt und horizontal Z-förmig zur späteren Verlängerung durchtrennt. Anschließend wird die Gelenkkapsel des Metatarsophalangealgelenkes dorsal eröffnet. Zur Korrektur einer medialen oder lateralen Zehenabweichung wird ein dosiertes Release der Kollateralbänder von dorsal nach plantar durchgeführt (Fuhrmann und Roth, 1998).

Bei einer totalen Luxation des Metatarsophalangealgelenkes und nachdem alle oben beschriebenen operativen Maßnahmen vorgenommen sind, kann es sein, dass beim Repositionsversuch immer noch zu große Spannung herrscht. In diesem Fall ist eine Verkürzungsosteotomie am Metatarsale indiziert (Meyer, 2003). Bei den Patienten vorliegender Untersuchung haben wir im Falle einer luxierten Hammerzehe in

Kombination mit einer Index-Minus-Variante (Metatarsale II länger als Metatarsale I) immer eine Weil-Osteotomie durchgeführt.

### 2.2.6 Weil-Osteotomie

Die Weil-Osteotomie ist eine Verkürzungsosteotomie, die an den Metatarsalia II – V durchgeführt wird. Sie wird langstreckig von distal dorsal nach proximal plantar angelegt und erfolgt intraartikulär. Die Osteotomie muss mit einer Minischraube fixiert werden. Der überschüssige dorsale Knochenanteil wird reseziert (Abb. 11).



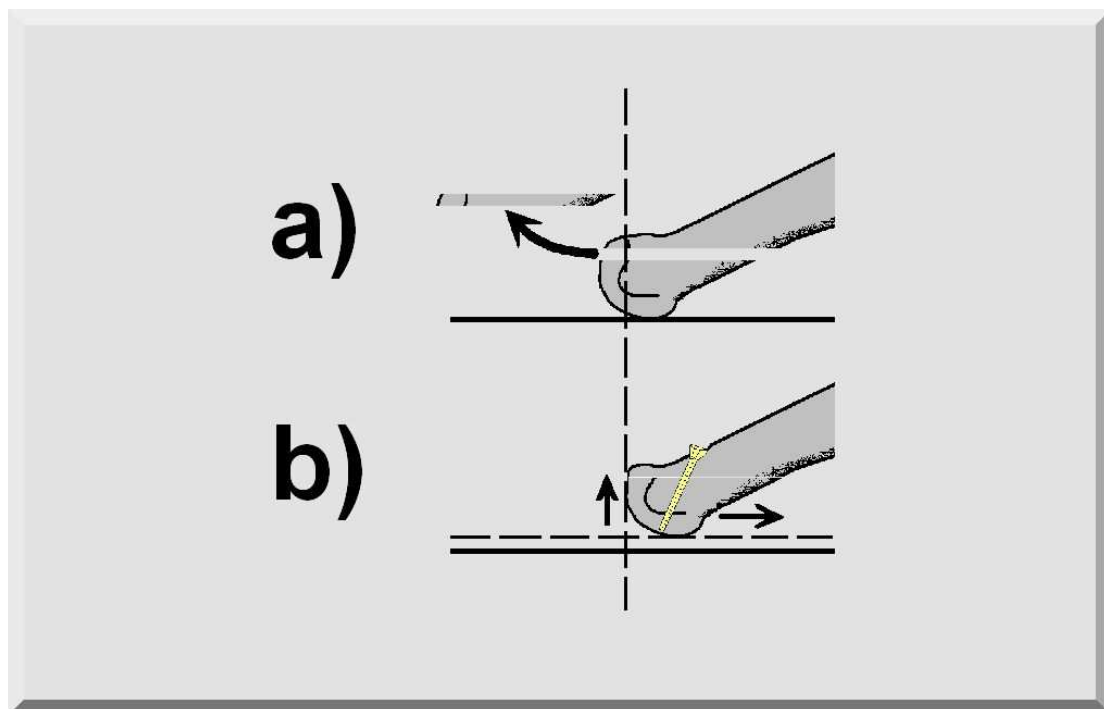
*Abb. 11: Seitliche Ansicht der Anordnung der Weil-Osteotomie.*

- a) Luxation einer Kleinzeh im Grundgelenk.*
- b) Intraartikuläre Verkürzungsosteotomie nach Weil.*
- c) Verschiebung des Metatarsalköpfchens nach proximal und Fixation durch resorbierbarer Schraube.*

Die Weil-Osteotomie führt durch die Verkürzung des Metatarsalknochens zur Entspannung der Weichteile am Metatarsophalangealgelenk (MP). Dadurch können kontrakte Zehenfehlstellungen und subluxierte oder luxierte Kleinzehen manuell redressiert werden. Zusätzlich wird durch der Verschiebung des Metatarsalköpfchens

nach proximal über das intakte plantare Fettpolster auch zur Besserung einer Metatarsalgie beigetragen (McGlamry, 1992).

Bei Metatarsalgie mit Überlastung eines oder mehrerer Metatarsalköpfchen wird die modifizierte Weil-Osteotomie durchgeführt. Diese erfolgt in gleicher Weise wie die klassische Weil-Osteotomie mit dem Unterschied, dass ein Knochenscheibchen aus dem Osteotomiespalt entnommen wird. Das betroffene Metatarsalköpfchen wird so eleviert und dadurch entlastet (Abb. 12).

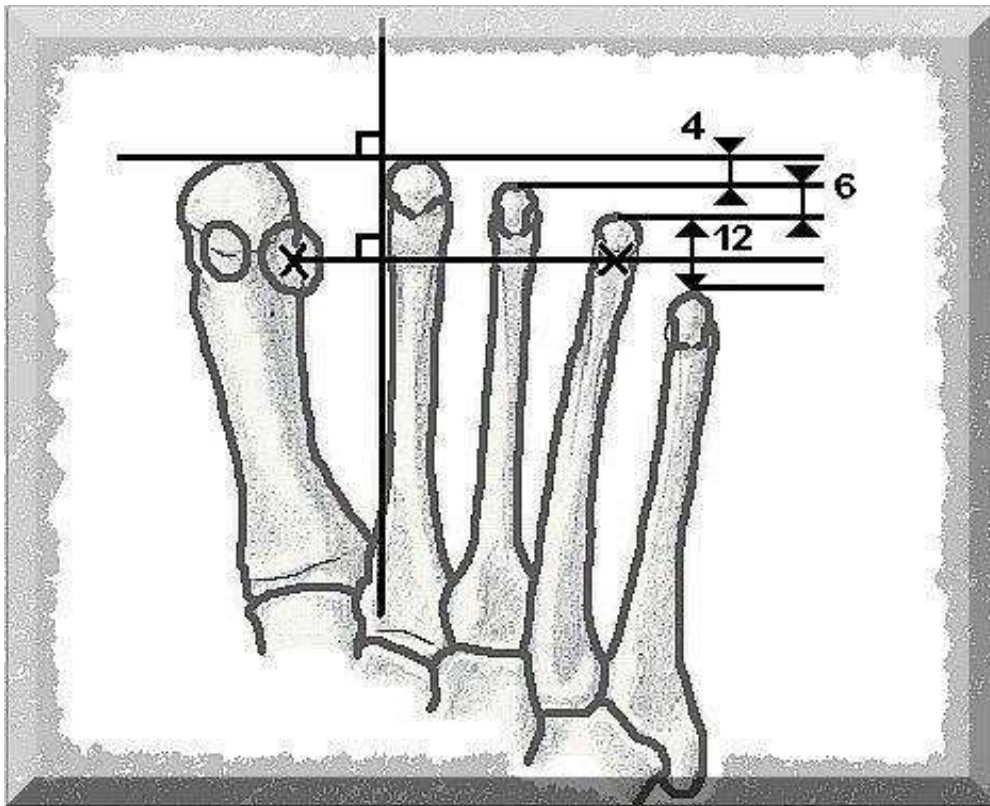


*Abb. 12: Seitliche Ansicht der Anordnung der modifizierten Weil-Osteotomie mit Scheibchenentnahme.*

- a) Ein 2mm dickes Knochenscheibchen wird entnommen.*
- b) Das Metatarsalköpfchen wird nach proximal verschoben und gleichzeitig eleviert.*

Bei der Durchführung von Weil-Osteotomien an den Metatarsalia II – V, sowie bei gleichzeitig durchgeführten Korrekturosteotomien am ersten Metatarsalknochen, wird immer darauf geachtet, dass das so genannte „Alignement“ der Metatarsalia nicht gestört wird. Die physiologischen Metatarsalknochen I - V haben zueinander bestimmte Längenverhältnisse, die eine gleichmäßige Gewichtsverteilung am Vorfuß

erlauben. Bei der Durchführung von Weil-Osteotomien wird angestrebt, diese Längenverhältnisse zu erhalten, bzw. herzustellen (Abb. 13).



*Abb. 13: Schematische Darstellung der idealen Längenverhältnisse der Metatarsalia (bearbeitetes Bild, Vorbild aus Forefoot Reconstruction, L.S. Barouk, 2003).*

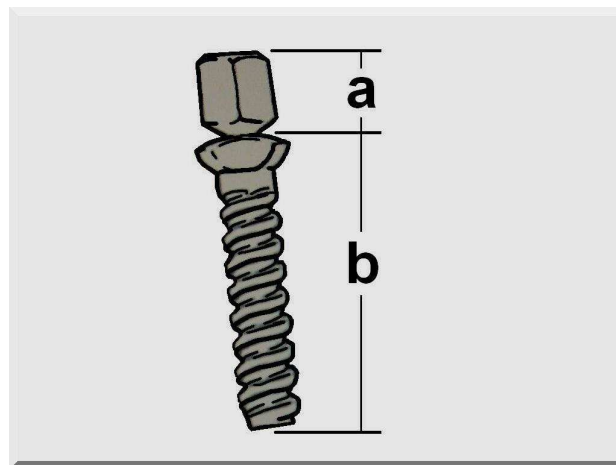
## 2.3 Implantate

Bei den oben beschriebenen Operationstechniken sind für diese Untersuchung ausschließlich resorbierbare PGA/PLA-Copolymer-Implantate (LactoSorb®) eingesetzt worden. Es wurden resorbierbare Schrauben und resorbierbare Pins mit dem Produktnamen „ReUnite™“ der Firma Biomet verwendet.

### 2.3.1 Resorbierbare Schrauben

Alle Korrekturosteotomien des ersten Strahles (ausgenommen die modifizierte Chevron-Osteotomie) sind mit resorbierbaren Schrauben mit einem Durchmesser von

2,5mm fixiert worden. Zur Fixation der Scarf-Osteotomie werden zwei Schrauben verwendet, zur Fixation der Chevron- und der Akin-Osteotomie jeweils eine. Die Kernlöcher für diese Schrauben werden mit einem 2,2mm Bohrer gebohrt. Nach dem Messen der Bohrlochtiefe und der Gewindebohrung mit einem 2,5mm Gewindeschneider wird die resorbierbare Schraube mit der passenden Länge eingebracht. Zur Fixation der modifizierten Chevron-Osteotomie haben wir jeweils zwei Schrauben mit einem Durchmesser von 2,0mm verwendet. Hierfür wird die Kernlochbohrung mit einem 1,7mm Bohrer durchgeführt und anschließend mit einem 2,0mm Gewindeschneider das Gewinde gebohrt. Die „ReUnite™“-Schrauben haben einen hexagonalen Kopf (Abb. 14), der in der Fassung des dazugehörigen Schraubendrehers passt. Nachdem die Schraube im Bohrloch fest platziert ist, kann der hexagonale Kopf mit einer zusätzlichen Drehung abgedreht werden. Dabei bleibt der darunterliegende Kopf intakt.



*Abb. 14: Schematische Darstellung einer „ReUnite™“ resorbierbaren Schraube (LactoSorb®) der Firma Biomet.*

- a) Hexagonaler Kopf (wird abgedreht).*
- b) Schraube mit ihrem eigentlichen Kopf (bleibt intakt).*

Für die Fixation der Korrekturosteotomien an den Metatarsalia II – V sind ebenso resorbierbare Schrauben mit einem Durchmesser von 2,0mm verwendet worden. Die Weil-Osteotomien und die Chevron-Osteotomie am Metatarsale V werden mit jeweils einer 2,0mm resorbierbaren Schraube fixiert, für die Scarf-Osteotomie am Metatarsale V werden zwei Schrauben verwendet.

### 2.3.2 Resorbierbare Pins

Resorbierbare Pins mit einem Durchmesser von 1,5mm sind für diese Untersuchung bei allen durchgeführten DIP- und PIP-Arthrodesen eingesetzt worden (Abb. 10). Die 1,5mm „ReUnite™“ resorbierbaren Pins werden in drei Längen hergestellt (20mm, 40mm und 60mm). Sie können aber leicht mit einer Liston-Zange in der gewünschten Länge geschnitten werden.

Aufgabe des resorbierbaren Pins ist es, die zwei angrenzenden Phalangen der Kleinzehe so lange in Kontakt zu halten, bis es zu einer Fusion kommt. Hierbei ist es wichtig, dass die zwei in Kontakt gebrachten Flächen der Phalangen, an denen die Arthrodesese erfolgen soll, senkrecht zur Schaftachse liegen und ausreichend angefrischt worden sind. Mittig sitzende und enge Bohrlöcher, so dass ein Rausrutschen des resorbierbaren Pins verhindert wird, tragen zu einer erfolgreichen Arthrodesese bei, genauso wie ein raffendes zusammennähen der durchtrennten Strecksehne über dem betroffenen DIP- oder PIP-Gelenk.

Aber auch in diesen Fällen, wo es zu keiner Fusion kommt, spielt der eingesetzte resorbierbare Pin eine stabilisierende Rolle im operierten DIP- oder PIP-Gelenk, ähnlich wie die Kirschner-Drähte bei der temporären Fixation der Kleinzehen nach durchgeführter DIP- oder PIP-Arthroplastik.

## 2.4 Patienten

Zwischen November 2001 und Dezember 2002 sind in der Privatklinik „Dr. Riefler“ in München insgesamt 93 Patienten (107 Füße) mit resorbierbaren Implantaten operativ versorgt worden. Alle Operationen wurden von demselben Operateur durchgeführt.

Von diesen 93 Patienten waren 88 (94,6 %) weiblich und 5 (5,4 %) männlich. Das Patientenalter zum Zeitpunkt der Operation lag zwischen 16 und 76 Jahren. Das Durchschnittsalter bei den Frauen betrug zum Operationstermin 55,6 Jahre, bei den Männern 58,6 Jahre. Dadurch errechnete sich ein Gesamtdurchschnitt von 55,8

Jahren. Von den 107 operierten Füßen waren 51 (47,7 %) links und 56 (52,3 %) rechts. 14 Patienten wurden beidseits operiert, 9 davon in derselben Sitzung.

Tabelle 1 zeigt welche Operationstechniken und in welcher Zahl angewendet worden sind, sowie die Zahl und die Art der eingesetzten resorbierbaren Implantate.

Operationstechniken	Zahl der durchgeführten Eingriffe		Zahl der eingesetzten resorbierbaren Implantate		
			Schrauben		Pins
	<u>Strahl I</u>	<u>Strahlen II-V</u>	<u>2,5mm</u>	<u>2,0mm</u>	<u>1,5mm</u>
<b>Scarf - M I</b>	84	-	168	-	-
<b>Chevron - M I</b>	15	-	11	8	-
<b>Akin</b>	94	-	94	-	-
<b>Scarf – M V</b>	-	4	-	8	-
<b>Chevron – M V</b>	-	4	-	4	-
<b>Weil</b>	-	62	-	62	-
<b>PIP-Arthroese</b>	-	69	-	-	69
<b>DIP-Arthroese</b>	-	3	-	-	3
<u>Summe:</u>	193	142	273	82	72
<b><u>Eingriffe (gesamt):</u></b>	<b>335</b>		<b><u>Schrauben</u> gesamt:</b>	<b>355</b>	
<b><u>Resorbierbare Implantate (gesamt):</u></b>				<b>427</b>	

*Tabelle 1: Operationstechniken, Zahl der durchgeführten Eingriffe und der eingesetzten resorbierbaren Implantaten.*

Insgesamt sind 427 resorbierbare Implantate eingesetzt worden. Davon waren 355 resorbierbare Schrauben und 72 resorbierbare Pins. Die Gesamtsumme der durchgeführten Eingriffe betrug 335. Davon waren 193 Operationen am ersten Strahl



(Metatarsale I und Großzehe) und 142 Eingriffe an den Strahlen II bis V (Metatarsale II – V und Kleinzehe).

Am ersten Strahl sind insgesamt 100 Füße operiert worden (193 Osteotomien am Metatarsale I und an der Großzehe). Bei 53 Füßen davon sind zusätzlich weitere Eingriffe an den Strahlen II bis V durchgeführt worden (Korrekturosteotomien an den Metatarsalia II – V und/oder Operationen an den Kleinzehe).

Bei den restlichen 7 Füßen sind Eingriffe nur an den Strahlen II bis V durchgeführt worden, bei 3 davon nur am Metatarsale V.

Wenn man die Zahlen der insgesamt durchgeführten Eingriffe (335) und der operierten Füße (107) miteinander vergleicht, wird deutlich, dass bei den meisten Patienten mehr als ein knöcherner Eingriff nötig war um die Vorfußdeformität zu korrigieren.

Alle Patienten wurden gleich postoperativ mobilisiert. Sie durften den operierten Fuß mit ihrem vollen Körpergewicht belasten, indem sie einen speziellen steifsohligen Schuh mit Einlegesohle der Firma Darco trugen. Die steife Sohle verhindert das Abrollen des operierten Fußes beim Gehen. Je nach durchgeführter Operation wurde von der Einlegesohle der erste oder der fünfte Strahl ausgeschnitten. Sie wurde nach der zweiten postoperativen Woche entfernt. Der steifsohlige Darco-Schuh wurde je nach Größe des durchgeführten Eingriffs für weitere zwei bis vier Wochen ohne Einlegesohle getragen. Danach konnten die Patienten wieder Normalschuhe tragen, am besten Turnschuhe mit steifer Sohle.

## **2.5 Methoden**

Alle Patienten wurden präoperativ, sowie prospektiv in fest geplanten Zeitabständen (2 Wochen, 6 Wochen, 6 Monate und 1 Jahr postoperativ) einbestellt und untersucht. Die Datenerhebung erfolgte durch: 1) klinischer Untersuchung, 2) radiologischer Untersuchung und 3) Beantwortung eines Fragebogens in Bezug auf die Patientenzufriedenheit.

**Score nach Kitaoka et al. (AOFAS-Score)**

**a) Schmerz (40 Punkte)**

Keine Schmerzen ( <b>40</b> )	
Leicht, gelegentlich ( <b>30</b> )	
Mäßig, täglich ( <b>20</b> )	
Stark, immer ( <b>0</b> )	

3. Beweglichkeit des Metatarsophalangealgelenkes (Dorsalextension und Plantarflexion)

Normal oder gering eingeschränkt (>75°) ( <b>10</b> )	
Geringfügig eingeschränkt (30°-74°) ( <b>5</b> )	
Stark eingeschränkt (<30°) ( <b>0</b> )	

4. Beweglichkeit der (bzw. des) Interphalangealgelenke(s) (Plantarflexion)

Keine Einschränkung ( <b>5</b> )	
Starke Einschränkung (<10°) ( <b>0</b> )	

**b) Funktion (45 Punkte)**

1. Belastungseinschränkung

Keine Einschränkungen ( <b>10</b> )	
Keine Einschränkung der täglichen Aktivitäten im Beruf, aber eingeschränkte Freizeitaktivitäten ( <b>7</b> )	
Einschränkung von täglichen und Freizeitaktivitäten ( <b>4</b> )	
Stark eingeschränkte Belastbarkeit ( <b>0</b> )	

5. MP-IP-Stabilität (alle Richtungen)

Stabil ( <b>5</b> )	
Instabil bzw. dislozierbar ( <b>0</b> )	

2. Schuhe

Normale Schuhe ohne Einlagen ( <b>10</b> )	
Schuhe mit Einlagen ( <b>5</b> )	
Spezialschuhe ( <b>0</b> )	

6. Schwielen am MP-IP Gelenk des Hallux bzw. der Kleinzehe

Keine / asymptomatisch ( <b>5</b> )	
Symptomatisch ( <b>0</b> )	

**c) Stellung des Hallux bzw. der Kleinzehe (15 Punkte)**

Gut ( <b>15</b> )	
Zufrieden stellend, geringe asymptomatische Fehlstellung ( <b>8</b> )	
Schlecht, offensichtliche und symptomatische Fehlstellung ( <b>0</b> )	

Tabelle 2: *Der klinische Vorfuß-Bewertungs-Score der „American Orthopaedic Foot and Ankle Society“ (AOFAS). Er wurde von Kitaoka et al. (1994) entwickelt.*

### 2.5.1 Klinische Untersuchung

Für die Bewertung der klinischen Untersuchung haben wir den von Kitaoka et al. (1994) für die „American Orthopaedic Foot and Ankle Society“ entwickelten Score verwendet (AOFAS-Score). Wie auf Tabelle 2 ist zu sehen, berücksichtigt dieses Bewertungsschema sowohl subjektive (z.B. Schmerz), als auch objektive Faktoren (z.B. Beweglichkeit).

Insgesamt gibt es 100 Punkte zu vergeben. Es werden bewertet: a) Schmerzen (maximal 40 Punkte), b) Funktion des Fußes (maximal 45 Punkte) und c) Stellung des Hallux bzw. der Kleinzehen (maximal 15 Punkte).

Für die vorliegende Untersuchung wurde bei allen Patienten der AOFAS-Score vor der Operation (bei der präoperativen Aufklärung), sowie 12 Monate postoperativ erhoben.

### 2.5.2 Radiologische Untersuchung

Alle Patienten wurden für diese Arbeit auch radiologisch untersucht. Es wurden Röntgen-Bilder des Vorfußes präoperativ, sowie postoperativ (6 Wochen, 6 Monate, 1 Jahr) angefertigt. Die Röntgen-Untersuchung erfolgte immer in 3 Ebenen (dorsoplantar und seitlich im Stehen und schräg).

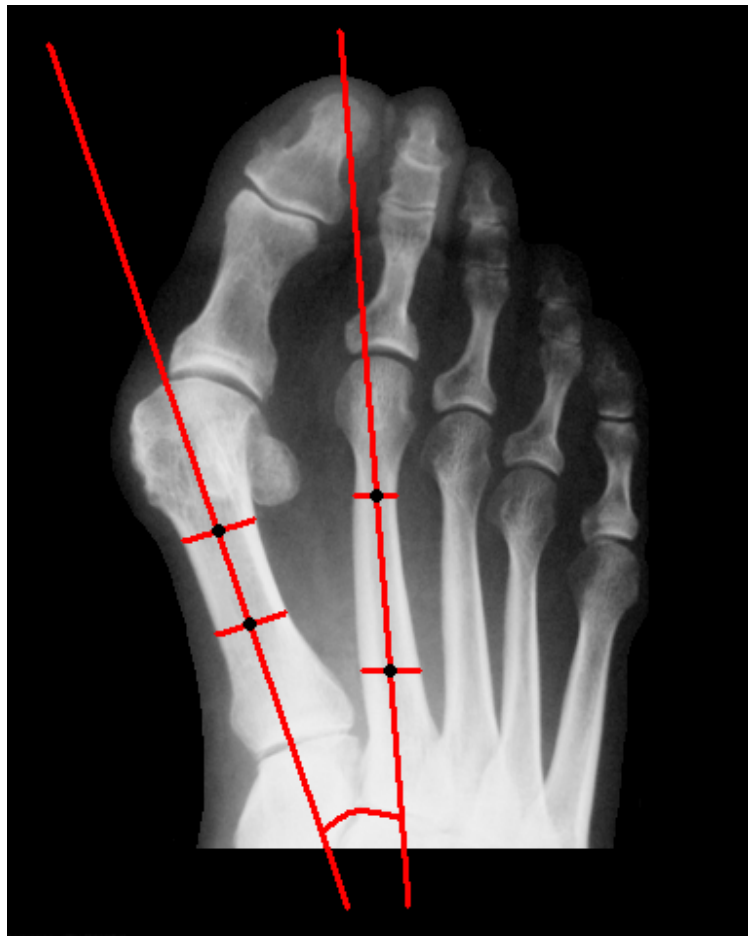
Anhand der entstandenen Röntgen-Bilder wurden folgende Parameter untersucht:

- a) Intermetatarsalwinkel M I - M II (ggf. M IV – M V)
- b) Hallux-valgus-Winkel
- c) Position des tibialen Sesambeines
- d) Metatarsalindex
- e) Kongruenz bzw. Inkongruenz des ersten Metatarsophalangealgelenkes

- f) Ist es bei den PIP- oder DIP-Arthrodesen zu der erwünschten Fusion gekommen?
- g) Was für einen Einfluss haben die Verkürzungsosteotomien nach Weil auf die Metatarsale-Variation (Längendifferenz der M I, M III, M IV und M V in Bezug auf M II) gehabt?
- h) Sind Vergrößerungen der Bohrlöcher oder sogar Lysen zu beobachten?
- i) Wie oft ist bei der Heilung der Osteotomien Callusbildung zu beobachten?

#### 1) Intermetatarsalwinkel M I - M II

Der Intermetatarsalwinkel M I – M II bestimmt den Winkel zwischen den Längsachsen der Metatarsale I und II. Er wird auch als Metatarsus-primus-varus-Winkel bezeichnet.



*Abb. 15: Der Intermetatarsalwinkel M I – M II nach Venning und Hardy (1951).*

Es gibt viele in der Fachliteratur beschriebene Methoden, die definieren wie die Linie am Metatarsale I gezogen wird (Hawkins et al., 1945, Venning und Hardy, 1951, Mitchell et al., 1958, Miller, 1974, Nestor, 1990). Die schafthalbierende Linie des Metatarsale II hingegen wird immer auf der gleichen Weise gezogen.

Die am meisten verwendete Methode ist die nach Venning und Hardy (1951). Dabei wird eine Linie gezogen, die zwei verschiedene Punkte verbindet, welche in der Mitte der Schaftbreite liegen. Diese schafthalbierende Linie wird in Beiden Richtungen verlängert (Abb. 15).

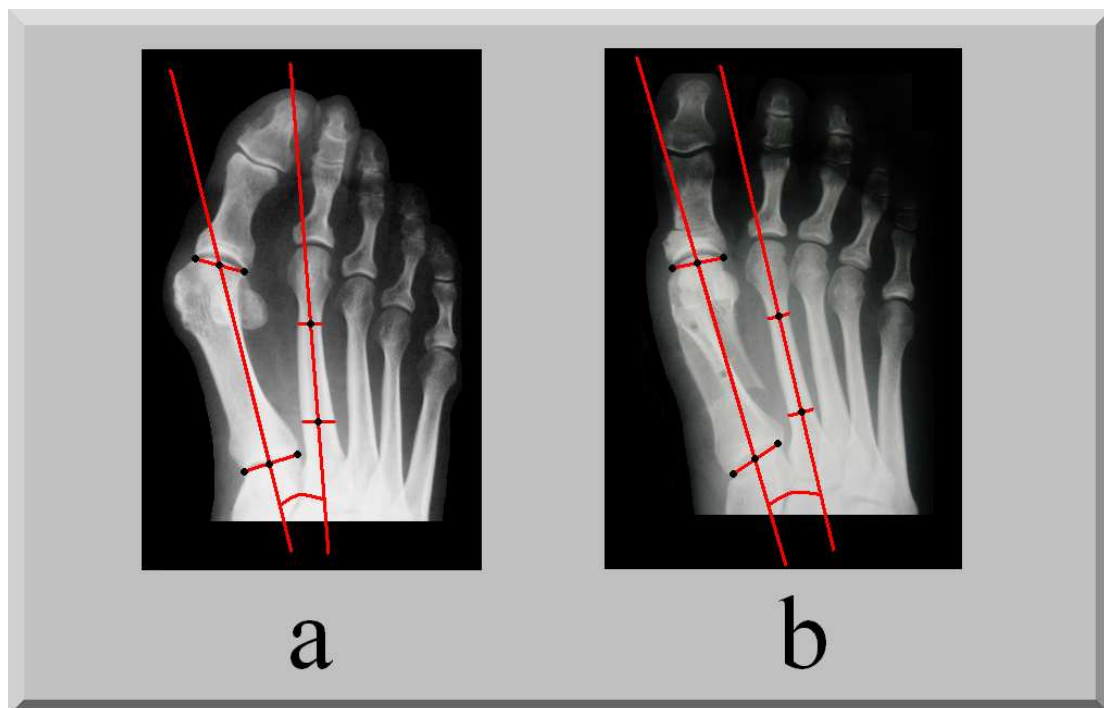
Ein Nachteil dieser Methode aber liegt darin, dass man bei den postoperativen Röntgen-Aufnahmen den distalen Punkt in der Schaftmitte schwer festlegen kann, da am Schaft osteotomiert worden ist und die entstandenen Fragmente verschoben wurden (Abb. 16).



*Abb. 16: Die Schaftmitte des Metatarsale I ist subkapital nach der Osteotomie schwer zu definieren. Ein Schwachpunkt der Methode nach Venning und Hardy.*

Diese Feststellung machten auch Schneider und Knahr (1998) in einer Studie, in der sie die Ergebnisse verschiedener Messtechniken miteinander verglichen haben.

Die von Mitchel et al. (1958) beschriebene Methode zum Messen des Intermetatarsalwinkels M I – M II umgeht dieses Problem. Hierbei wird am Metatarsale I eine Linie gezogen, welche die Mitte der Artikulationsfläche des Metatarsalkopfes mit der Mitte der proximalen Artikulationsfläche des Metatarsale I verbindet. Die beiden Artikulationsflächen des Metatarsalknochens werden von der durchgeführten Korrekturosteotomie am Metatarsale I nicht verändert und es besteht so eine Vergleichsmöglichkeit zwischen präoperativen und postoperativen Röntgen-Aufnahmen (Abb. 17)



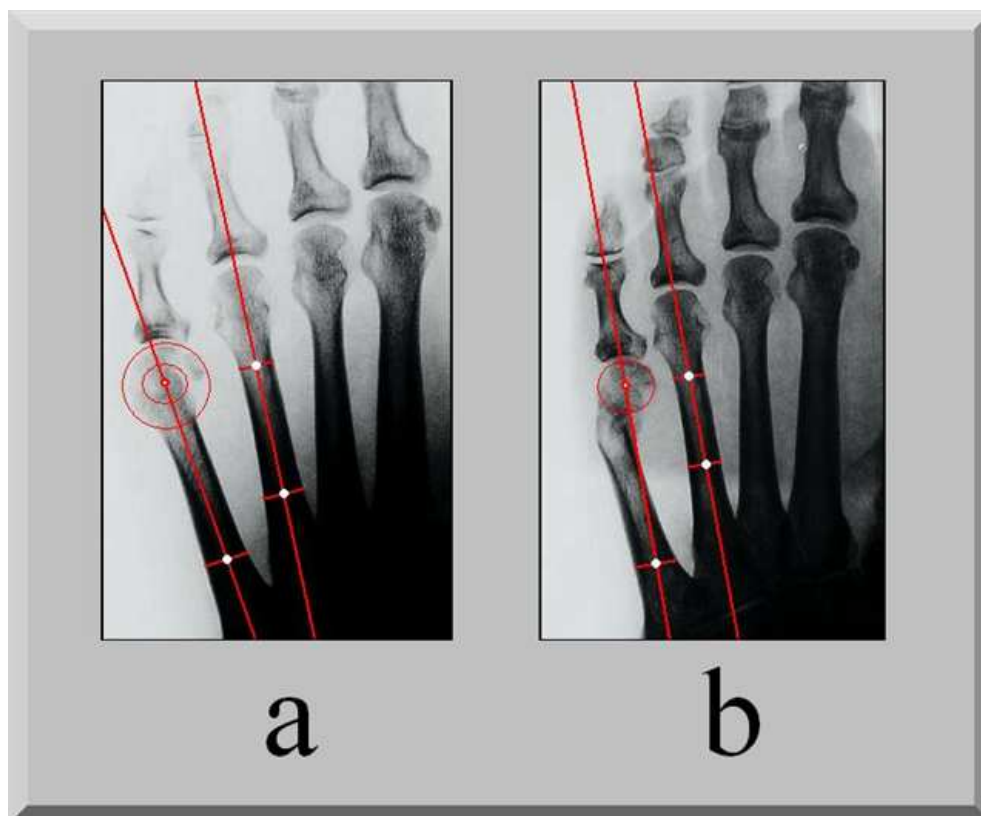
*Abb. 17: Der Intermetatarsalwinkel M I – M II nach Mitchel et al. (1958). Diese Methode ist bei präoperativen (a), sowie bei postoperativen (b) Röntgen-Aufnahmen leicht anzuwenden.*

Für die vorliegende Untersuchung haben wir den Intermetatarsalwinkel M I – M II mit der Methode nach Mitchel et al. bestimmt. Der Winkel wurde auf den präoperativen, sowie auf den postoperativen (6 Wochen, 6 Monate, 1 Jahr) Röntgen-Bildern gemessen.

Um eine bessere Vergleichbarkeit mit anderen Studien zu erreichen, haben wir den präoperativen Intermetatarsalwinkel M I – M II zusätzlich mit der Methode nach Venning und Hardy bestimmt, da diese die meist verbreitete Messtechnik ist.

## 2) Intermetatarsalwinkel M IV – M V

Als Intermetatarsalwinkel M IV – M V bezeichnet man den Winkel zwischen den Längsachsen der Metatarsale IV und V. Die schafthalbierende Linie des Metatarsale IV verbindet zwei Punkte, die in der Mitte des Schaftes liegen. Für die Linie am Metatarsale V haben wir die Methode nach Nestor et al. (1990) verwendet. Hierbei wird eine Linie gezogen, indem man das Zentrum des Metatarsale V-Köpfchens („center-of-head“) mit der Mitte des proximalen Schaftes verbindet (Abb. 18).



*Abb. 18: Der Intermetatarsalwinkel M IV – M V präoperativ (a) und postoperativ (b) nach Nestor et al. (1990).*

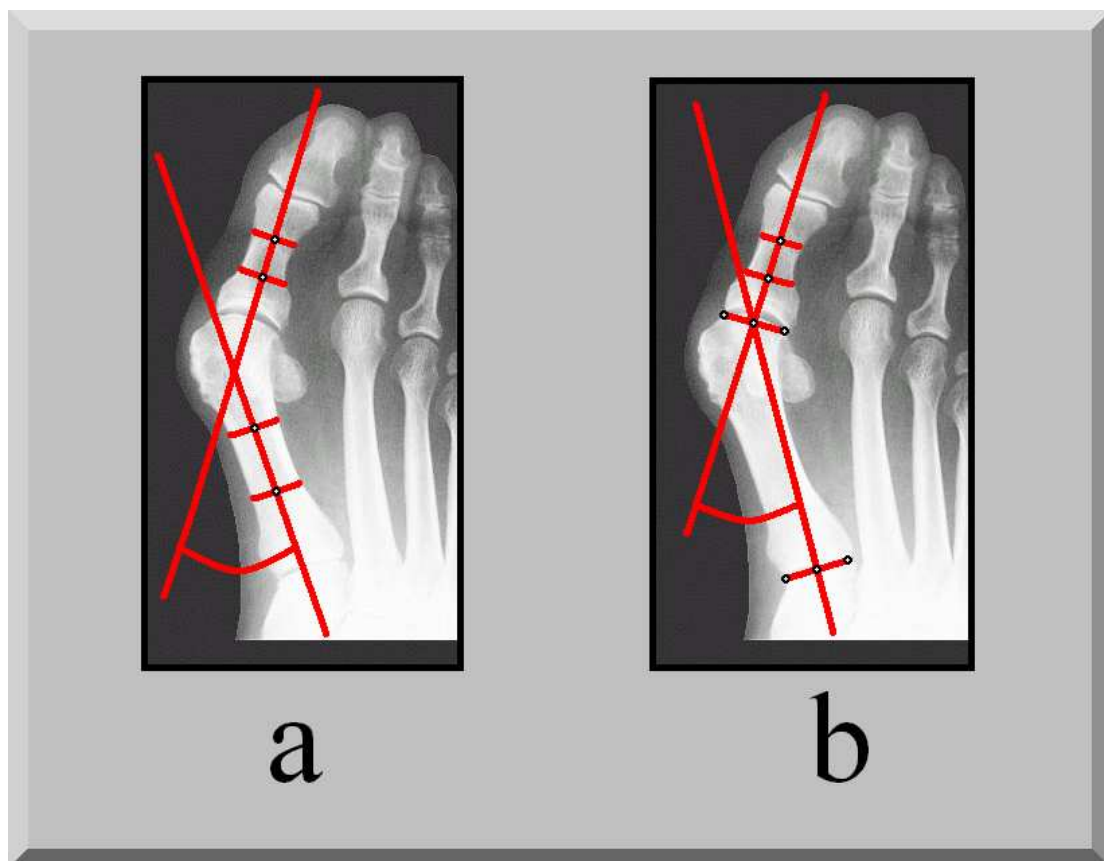
Der Intermetatarsalwinkel M IV – M V wurde ebenfalls für die vorliegende Arbeit präoperativ, sowie postoperativ (6 Wochen, 6 Monate, 1 Jahr) gemessen.

### 3) Hallux-valgus-Winkel

Ähnlich wie beim Bestimmen des Intermetatarsalwinkels, gibt es auch für den Hallux-valgus-Winkel verschiedene Messtechniken, die ihre Anwendung finden.

Auch hierbei haben wir die Methode nach Mitchel et al. (1958) verwendet und für die Beurteilung der präoperativen Röntgen-Bildern zusätzlich die Methode nach Venning und Hardy (1951) aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit.

Auf der Abbildung 19 sind beide Methoden im Vergleich zu sehen.



*Abb. 19: Der Hallux-valgus-Winkel eines präoperativen Röntgen-Befundes gemessen nach der Methode von Venning und Hardy (a) und von Mitchel et al. (b).*



#### 4) tibiale Sesambeinposition (TSP)

Zur Beurteilung der Position des tibialen Sesambeines haben wir die von Hardy und Clapham (1951) beschriebene Einteilung verwendet. Hierbei wird zwischen sieben tibialen Sesambeinpositionen (TSP 1-7) in Bezug auf die Längsachse des Metatarsale I unterschieden. Diese sind von medial nach lateral folgende:

- TSP 1: Das Sesambein liegt deutlich medial der Längsachse des Metatarsale I.
- TSP 2: Das Sesambein liegt medial, aber berührt die Längsachse.
- TSP 3: Das Sesambein überlappt lateral die Längsachse um weniger als die Hälfte.
- TSP 4: Das tibiale Sesambein wird durch die Längsachse des Metatarsale I zweigeteilt.
- TSP 5: Das Sesambein überlappt lateral die Längsachse um mehr als die Hälfte.
- TSP 6: Das Sesambein liegt lateral, aber berührt die Längsachse.
- TSP 7: Das Sesambein liegt deutlich lateral der Längsachse des Metatarsale I.

Dabei wird von Hardy und Clapham die dritte Position (TSP 3) als physiologisch angesehen.

Für die vorliegende Untersuchung wurde die tibiale Sesambeinposition ebenfalls präoperativ, wie auch postoperativ (6 Wochen, 6 Monate, 1 Jahr) beurteilt.

#### 5) Metatarsalindex

Als Metatarsalindex bezeichnet man das Längenverhältnis des Metatarsale I in Bezug auf das Metatarsale II. Ist der erste Metatarsalknochen länger als der zweite spricht man von einer Index-Plus-Variante und umgekehrt von einer Index-Minus-Variante. Bei gleicher Länge von Metatarsale I und II besteht ein Index-Plus-Minus (Nilsonne, 1930, Viladot, 1993).

Der Metatarsalindex wird bestimmt, indem man eine senkrechte Linie auf die Längsachse des Metatarsale II zieht und zwar in Höhe seines distalen Endes, wie auf Abbildung 20 gezeigt wird.



*Abb. 20: Beispiel einer Index-Minus-Variante. Das Metatarsale I ist im Vergleich zum Metatarsale II kürzer.*

Auch der Metatarsalindex wurde für diese Untersuchung präoperativ, sowie postoperativ (6 Wochen, 6 Monate, 1 Jahr) bestimmt und in Millimetern gemessen.

#### 6) Kongruenz / Inkongruenz

Ein anderer Parameter, den wir auf den Röntgen-Bildern beurteilt haben, war die Kongruenz bzw. die Inkongruenz des ersten Metatarsophalangealgelenkes.

Auf dem dorsoplantarem Röntgen-Bild des Vorfußes im Stehen sind im Falle eines kongruenten MP I-Gelenkes die Linien, die die Endpunkte der Gelenkflächen verbinden parallel zueinander ausgerichtet. Die Grundphalanx artikuliert schlüssig mit dem Metatarsale I-Kopf.

Bei einem inkongruenten Metatarsophalangealgelenk dagegen kreuzen sich diese Linien und zwar in einem flachen Winkel außerhalb des Gelenkes. Wenn sie sich innerhalb des Gelenkes kreuzen spricht man von einem subluxiertem Metatarsophalangealgelenk (Karasick, 1990). In diesem Fall artikuliert die Grundphalanx-Basis nur mit dem lateralen Anteil des Metatarsale I-Kopfes (Abb.21).

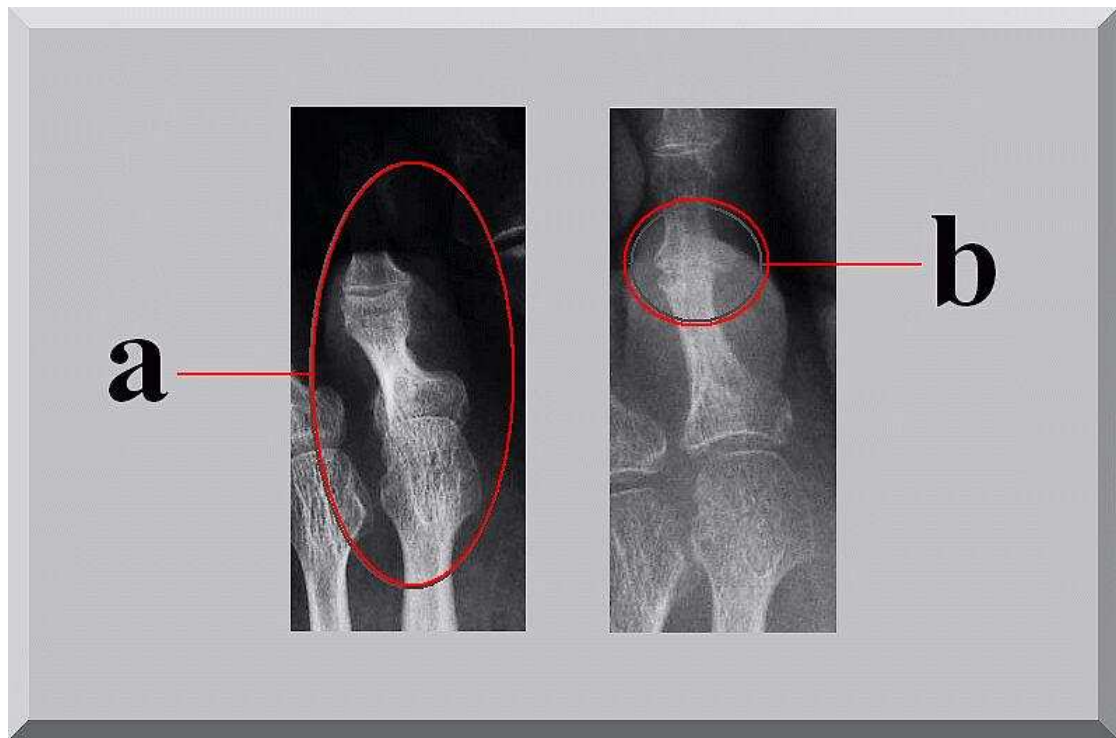


*Abb. 21: Postoperatives Röntgen-Bild einer beidseits operierten Patientin. Links ist das erste Metatarsophalangealgelenk kongruent. Rechts ist eine laterale Inkongruenz von 2mm zu beobachten.*

#### 7) Kleinzehenkorrekturen

Bei den operierten Interphalangealgelenken (PIP bzw. DIP) der Kleinzehen wurde eine Arthrodesse angestrebt. Mittels Fixation mit resorbierbaren Pins sollte es zu einer Fusion der operierten Phalangen kommen (Abb. 22).

Alle Patienten, die so einer Operation unterzogen worden sind, wurden ebenfalls 6 Wochen, 6 Monate und 1 Jahr postoperativ radiologisch untersucht. Es wurde dokumentiert in wie vielen Fällen und wann es zu einer Fusion gekommen ist.



*Abb. 22: PIP-Arthrodese in Kombination mit Beugesehnentransfer und Weichteil-release am Metatarsophalangealgelenk .*

- a) Präoperatives Röntgen-Bild: Subluxierte Hammerzehe Z2 links.*
- b) Röntgen-Bild 6 Monate postoperativ: Mit Hilfe eines resorbierbaren Pins kam es zur erwünschten Fusion der proximalen mit der mittleren Phalanx.*

## 8) Metatarsale-Variation

Bei den Patienten, an denen Weil-Osteotomien durchgeführt worden sind, wurde darauf geachtet, dass das so genannte „Alignement“ der Metatarsalia postoperativ erhalten bleibt bzw. hergestellt wird. Um dies zu überprüfen, haben wir die Metatarsale-Variation, d. h. die Längendifferenz der Metatarsalia I, III, IV und V in Bezug auf Metatarsale II, prä- sowie postoperativ gemessen (Abb. 23).

Bei der vorliegenden Untersuchung sind insgesamt 62 Weil-Osteotomien an 21 Patienten (22 Füßen) durchgeführt worden. Davon waren 4 Osteotomien an 2 Patienten (2 Füßen) proximale Weil-Korrekturen (elevierende, basisnahe Korrekturosteotomien an den Metatarsalia) und alle übrigen (58 Osteotomien, 19 Patienten, 20 Füße) distale Weil-Osteotomien (Abb. 12).



*Abb. 23: Die Metatarsale-Variation wird bestimmt, nachdem senkrechte Linien von den distalen Enden der Metatarsalköpfchen zur Längsachse des Metatarsale II gezogen werden. Die Längendifferenz der Metatarsalknochen I, III, IV und V in Bezug auf das Metatarsale II wird in Millimetern gemessen.*

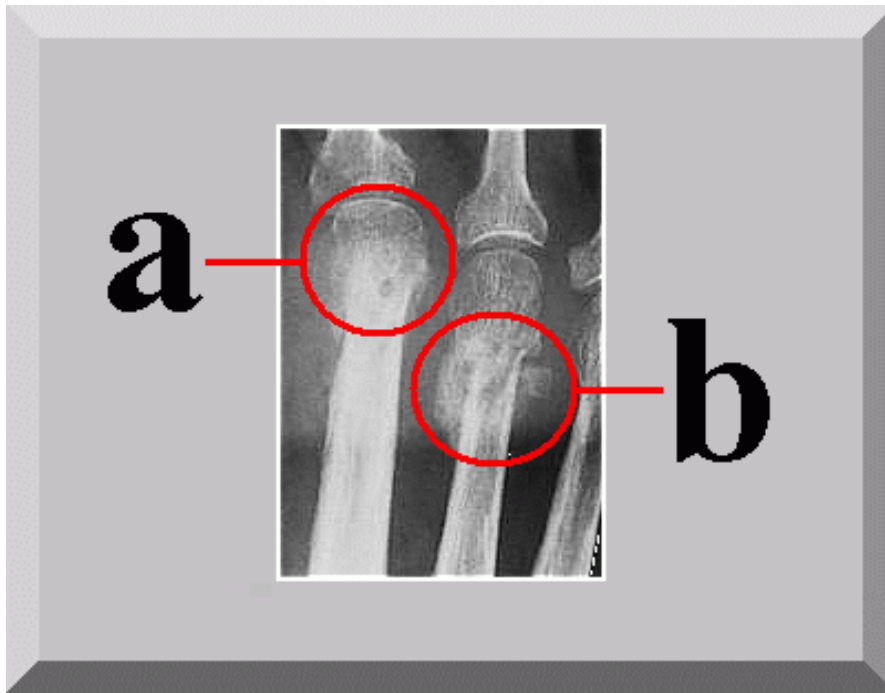
#### 9) Vergrößerung der Bohrlöcher / Lysen

Bei allen postoperativen Röntgen-Bildern wurde neben dem Bestimmen und Dokumentieren der bereits aufgeführten Parameter auch auf andere Unregelmäßigkeiten oder Auffälligkeiten geachtet.

Mögliche Komplikationen wie Fraktur, Dislokation der Knochenfragmente, Vergrößerung der Bohrlöcher im Verlauf oder sogar Lysen wurden erfasst und dokumentiert.

#### 10) Callusbildung

Ebenso haben wir untersucht, in wie vielen Fällen es zu einer Ausheilung der Korrekturosteotomien mit untypischer Callusbildung gekommen ist (Abb. 24).



*Abb. 24: Postoperatives Röntgen-Bild zweier Weil-Osteotomien.*

- a) Primäre Ausheilung der Osteotomie ohne Callusbildung.*
- b) Sekundäre Ausheilung der Osteotomie mit Callus.*

Es ist bekannt, dass Callusbildung ein Zeichen von instabiler Osteosynthese ist.

### 2.5.3 Patientenzufriedenheit

Zusätzlich zur klinischen und radiologischen Untersuchung wurde von den Patienten auch ein Fragebogen in Bezug auf deren subjektive Zufriedenheit ausgefüllt. Diese Befragung fand während der Abschlussuntersuchung 1 Jahr nach der Operation statt.

Folgende Fragen wurden gestellt:

- 1) Sind Sie mit dem Gesamtergebnis der Operation zufrieden?
- 2) Sind Sie mit dem kosmetischen Ergebnis der Narben zufrieden?
- 3) Würden Sie einem Verwandten oder Freund mit demselben Problem zu einer gleichen Operation raten?

Diese drei Fragen konnten von den Patienten entweder bejaht oder verneint werden. Zwischenabstufungen wie „sehr zufrieden“ oder „weniger zufrieden“, wie sie in anderen Untersuchungen vorkommen, haben wir absichtlich nicht verwendet, weil sie unserer Meinung nach irreführend sind und ein eindeutiges Ergebnis verfremden.

#### 2.5.4 Statistische Auswertung

Die Statistische Auswertung, sowie die Erstellung der Diagramme erfolgten mit Hilfe der Statistikprogramme Excel 2002 der Firma Microsoft und SPSS (Version 12.0) für Windows. Für die Ermittlung der statistischen Signifikanz wurde der t-Test für verbundene Stichproben angewendet.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Klinische Untersuchung

Für die klinische Bewertung der Beschwerden wurde bei allen Patienten (107 Füße) der präoperative sowie der postoperative AOFAS-Score ermittelt. Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der klinischen Untersuchung.

<u>AOFAS-Score (Punkte)</u>	<u>präoperativ</u>	<u>postoperativ</u>
Mittelwert	51	90
Minimum	10	57
Maximum	85	100
Median	52	95
Standardabweichung	± 14	± 9

*Tabelle 3: Gegenüberstellung der erreichten Punktzahl nach Anwendung des AOFAS-Scores präoperativ sowie postoperativ bei einer Summe von 107 Füßen.*

Die Veränderung des AOFAS-Scores war statistisch signifikant ( $p < 0,001$ ). Die erreichte Punktzahl war postoperativ im Durchschnitt um 39 Punkte höher. Die Konfidenzintervalle lagen zwischen 37 und 42 Punkten (Tab. 4).

<b>p</b>	Mittelwert der Differenz	<u>95% Konfidenzintervalle der Differenz</u>	
		geringste	höchste
< 0,001	39 Punkte	37 Punkte	42 Punkte

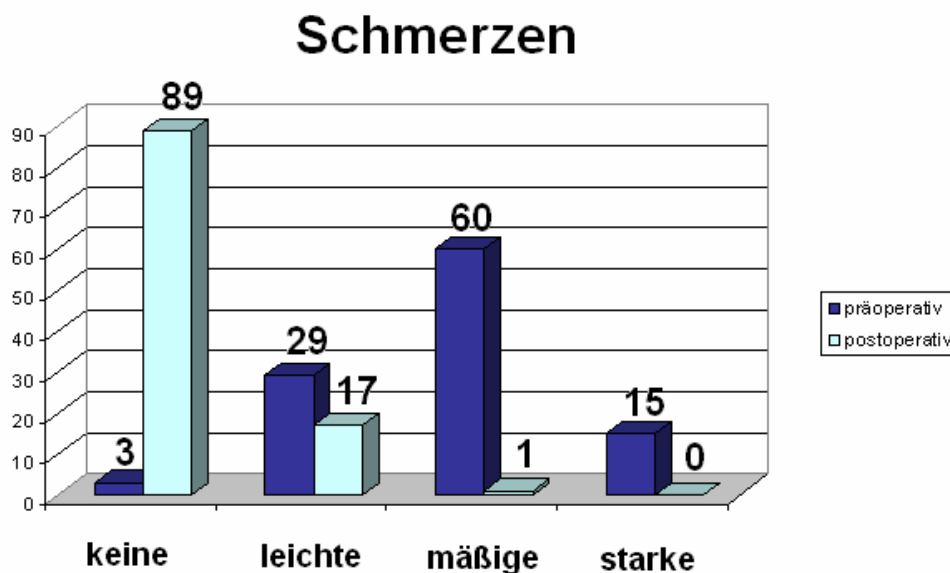
*Tabelle 4: Statistische Signifikanz und Höhe der Differenz zwischen dem präoperativen und dem postoperativen AOFAS-Score.*



Wie bereits erörtert, berücksichtigt der AOFAS-Score a) Schmerzen, b) Funktion des Fußes und c) Stellung des Hallux bzw. der Kleinzehe (Tab. 2).

### 3.1.1 Schmerzen

Der AOFAS-Score unterteilt die Patienten in Bezug auf ihre subjektiv empfundenen Schmerzen in vier Gruppen: a) ohne Schmerzen, b) mit leichten, gelegentlichen Schmerzen, c) mit mäßigen, täglichen Schmerzen und d) mit starken, immer vorhandenen Schmerzen. Das Diagramm 1 zeigt die Verteilung der Patienten vor und nach der Operation in diesen vier Kategorien.



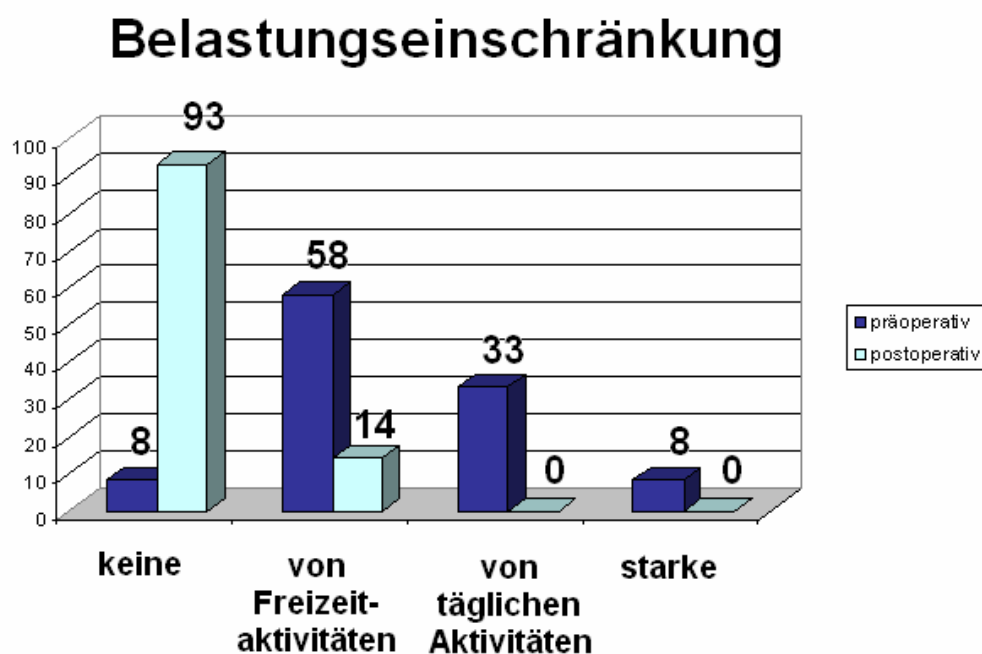
*Diagramm 1: Schmerzangabe der Patienten vor (dunkelblau) und nach der operativen Behandlung (hellblau).*

Keine Schmerzen hatten präoperativ 3 Patienten (2,8%). Dagegen waren nach der Operation 89 Patienten (91,6%) schmerzfrei. Leichte Schmerzen gaben präoperativ 29 Patienten (27,1%) an und postoperativ 17 Patienten (15,9%). Mäßige, tägliche Schmerzen hatten vor der Operation 60 Patienten (56,1%) und postoperativ 1 Patient (0,9%). 15 Patienten (14,0%) hatten vor der operativen Behandlung starke Schmerzen und keiner (0,0%) danach.

### 3.1.2 Funktion

Zur Beurteilung der Funktion des Fußes werden vom AOFAS-Score verschiedene Parameter, wie Belastungseinschränkung, getragenes Schuhwerk, Beweglichkeit und Stabilität der MP- und IP-Gelenke, sowie vorhandene Schwielen im Bereich der Zehen und des Ballens bewertet.

In Bezug auf die Belastungseinschränkung unterscheidet der AOFAS-Score zwischen vier Kategorien: a) keine Einschränkungen, b) keine Einschränkungen der täglichen Aktivitäten im Beruf, aber eingeschränkte Freizeitaktivitäten, c) Einschränkung von täglichen und Freizeitaktivitäten und d) stark eingeschränkte Belastbarkeit. Die Verteilung der Patienten in diesen vier Gruppen prä- und postoperativ war wie auf Diagramm 2 zu sehen ist.

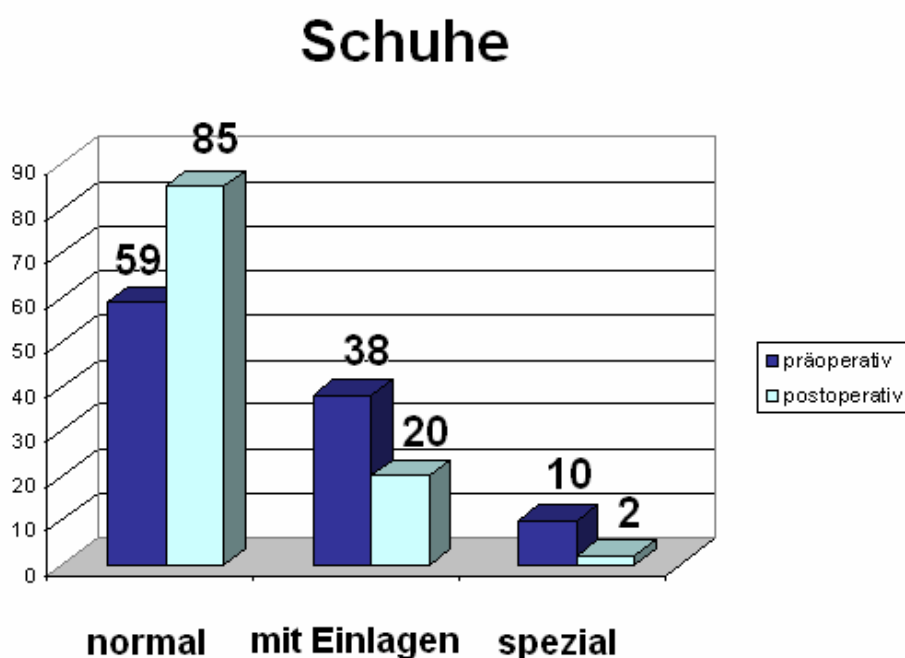


*Diagramm 2: Die Belastungseinschränkung der Patienten prä- (dunkelblau) sowie postoperativ (hellblau).*

Keine Belastungseinschränkung gaben vor der Operation 8 Patienten (7,5%) und nach der Operation 93 Patienten (86,9%) an. In der zweiten Gruppe waren präoperativ 58 Patienten (54,2%) und postoperativ 14 Patienten (13,1%) aufzufinden. Vor der

operativen Behandlung gaben 33 Patienten (30,8%) Einschränkung von täglichen sowie von Freizeitaktivitäten und 8 Patienten (7,5%) stark eingeschränkte Belastbarkeit an. Postoperativ waren in diesen zwei Kategorien keine Patienten (0,0%) aufzufinden.

In Bezug auf das getragene Schuhwerk wird in drei Gruppen unterteilt: a) Patienten, die normale Schuhe ohne Einlagen tragen, b) Patienten, die Schuhe mit Einlagen benötigen und c) Patienten, welche Spezialschuhe zum Gehen brauchen. Die Verteilung der Patienten unserer Untersuchung in diesen drei Kategorien war wie auf Diagramm 3 zu sehen ist.



*Diagramm 3: Die Verteilung der Patienten in drei Gruppen in Bezug auf das getragene Schuhwerk präoperativ (dunkelblau) und postoperativ (hellblau).*

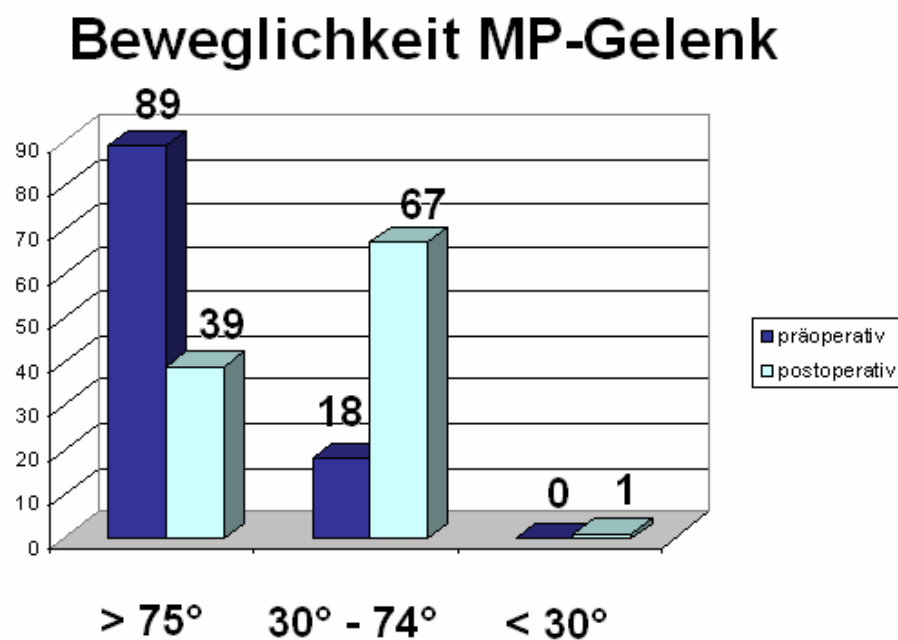
Präoperativ haben normale Schuhe ohne Einlagen 59 Patienten (55,1%) getragen. Postoperativ waren es 85 Patienten (79,4%). Schuhe mit Einlagen benötigten präoperativ 38 Patienten (35,5%) und postoperativ 20 Patienten (18,7%). Spezialschuhe brauchten präoperativ 10 Patienten (9,3%) und postoperativ 2 Patienten (1,9%).

Zur Beurteilung der Funktion berücksichtigt der AOFAS-Score auch die Beweglichkeit der Metatarsophalangealgelenke (MP) und der Interphalangealgelenke (IP).

Je nach Beweglichkeit der MP-Gelenke der Patienten (Dorsalextension und Plantarflexion) wird in drei Kategorien unterteilt: a) normale oder gering eingeschränkte Beweglichkeit ( $>75^\circ$ ), b) geringfügig eingeschränkte Beweglichkeit ( $30^\circ$ - $74^\circ$ ) und c) stark eingeschränkte Beweglichkeit ( $<30^\circ$ ).

In Bezug auf die Beweglichkeit der IP-Gelenke (Plantarflexion) wird zwischen zwei Gruppen unterschieden: a) ohne Einschränkung und b) starke Einschränkung ( $<10^\circ$ ).

Die Diagramme 4 und 5 zeigen die Beweglichkeit der MP- und IP-Gelenke der Patienten, vor und nach dem operativen Eingriff.

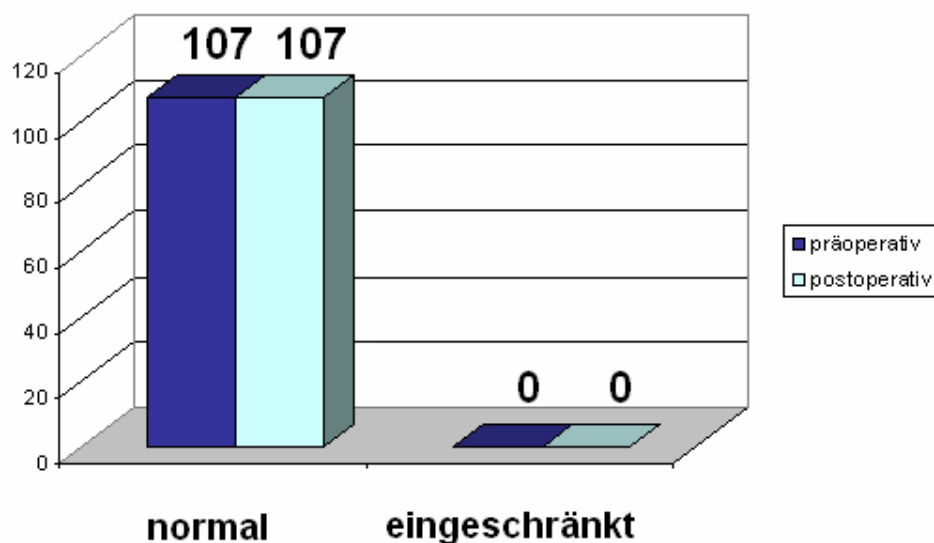


*Diagramm 4: Die Beweglichkeit der Metatarsophalangealgelenke der Patienten prä- (dunkelblau) und postoperativ (hellblau).*

Wie auf dem Diagramm 4 zu sehen ist, hatten präoperativ 89 Patienten (83,2%) eine normale Beweglichkeit im MP-Gelenk. Postoperativ waren es weniger, die eine so

gute Beweglichkeit im MP-Gelenk aufweisen konnten und zwar 39 Patienten (36,4%). Geringfügig eingeschränkte Beweglichkeit hatten vor dem Eingriff 18 Patienten (16,8%) und danach 67 Patienten (62,6%). Stark eingeschränkt war die Beweglichkeit im MP-Gelenk bei keinem Patienten präoperativ (0,0%) und bei einem postoperativ (0,9%).

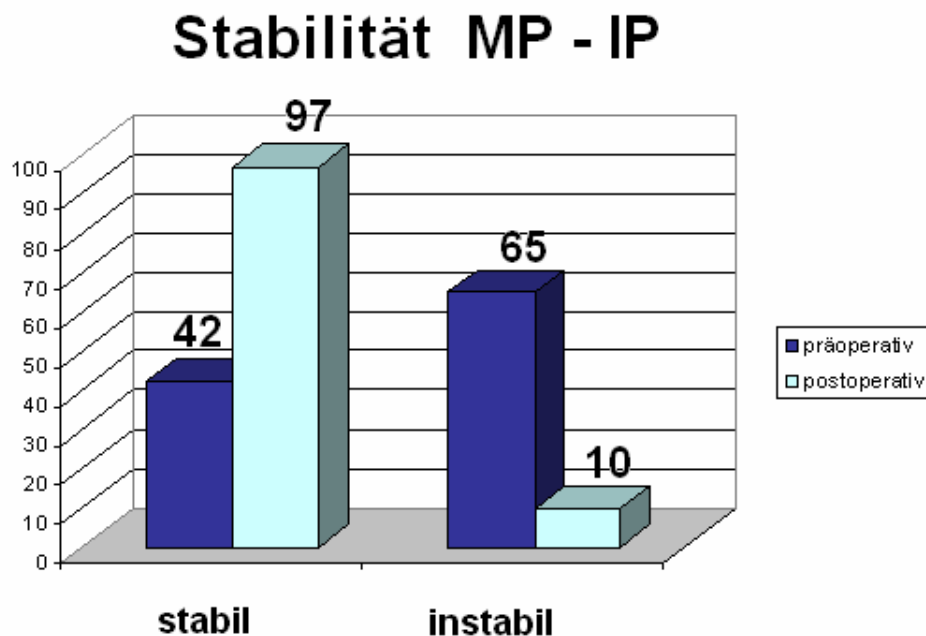
## Beweglichkeit IP-Gelenk



*Diagramm 5: Die Beweglichkeit der Interphalangealgelenke der Patienten prä- (dunkelblau) und postoperativ (hellblau).*

Diagramm 5 zeigt eindeutig, dass die Beweglichkeit der IP-Gelenke bei allen 107 operierten Füßen (100,0%) weder prä- noch postoperativ eingeschränkt war. Es ist nahe liegend, dass bei den 72 durchgeführten PIP- und DIP-Arthrodesen (Tab. 1) postoperativ keine uneingeschränkte Beweglichkeit in diesen Gelenken zu erwarten ist und dass für diese Statistik nach der Operation die Beweglichkeit in den nicht operierten IP-Gelenken der Kleinzehe untersucht worden ist. Bei den Patienten, die am ersten Strahl operiert worden sind, wurde prä- sowie postoperativ die Beweglichkeit des Interphalangealgelenkes der Großzehe untersucht.

In Bezug auf die Stabilität der Metatarsophalangealgelenke (MP) sowie der Interphalangealgelenke (IP) der operierten Patienten war die Verteilung prä- und postoperativ wie auf Diagramm 6 zu sehen ist.

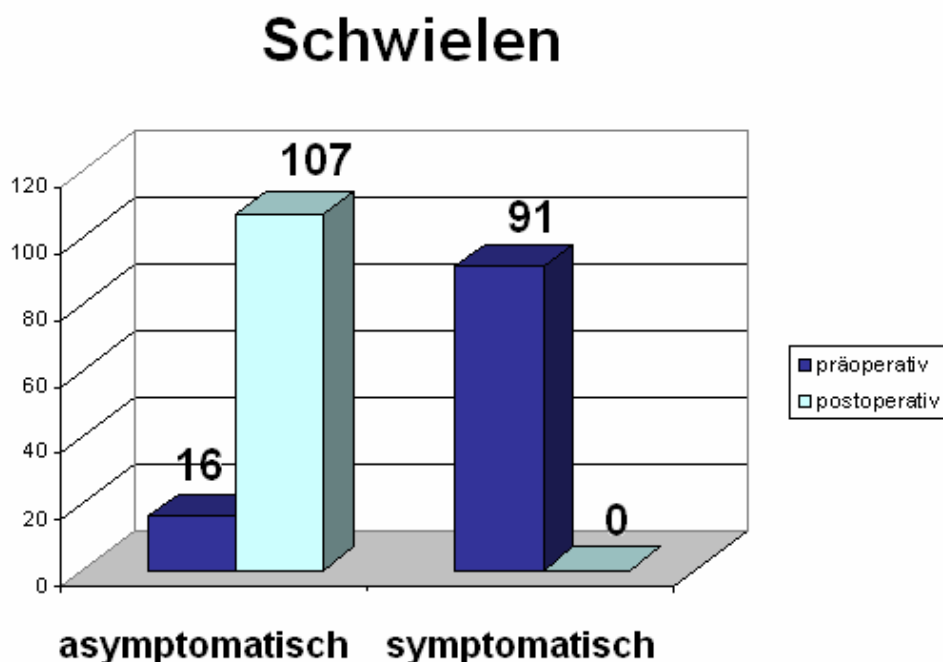


*Diagramm 6: Die Stabilität der Metatarsophalangealgelenke und der Interphalangealgelenke der Patienten prä- (dunkelblau) und postoperativ (hellblau).*

Demnach hatten präoperativ 42 Patienten (39,3%) stabile Gelenke und 65 Patienten (60,7%) wiesen eine Instabilität bzw. ein dislozierbares MP-Gelenk auf (MP-Gelenk Luxation oder Subluxation). Postoperativ hingegen hatten bei der klinischen Untersuchung 97 Patienten (90,1%) stabile und 10 Patienten (9,3%) instabile Gelenkverhältnisse aufzuweisen.

Der letzte Parameter, der bei der Erstellung des AOFAS-Scores in Hinsicht auf die Funktion der Füße berücksichtigt wird, ist das Vorhandensein von Schwielen im Bereich der Zehen und des Ballens. Demnach werden die Patienten in zwei Gruppen unterteilt: a) keine bzw. asymptomatische Schwielen im MP- und IP-Bereich des Hallux bzw. der Kleinzehen und b) symptomatische Schwielen sind vorhanden.

Auf Diagramm 7 wird präsentiert in wie fern die Patienten unserer Untersuchung asymptomatische bzw. symptomatische Schwielen prä- und postoperativ aufwiesen.



*Diagramm 7: Das Vorhandensein von asymptomatischen und symptomatischen Schwielen bei 107 untersuchten Füßen prä- (dunkelblau) sowie postoperativ (hellblau).*

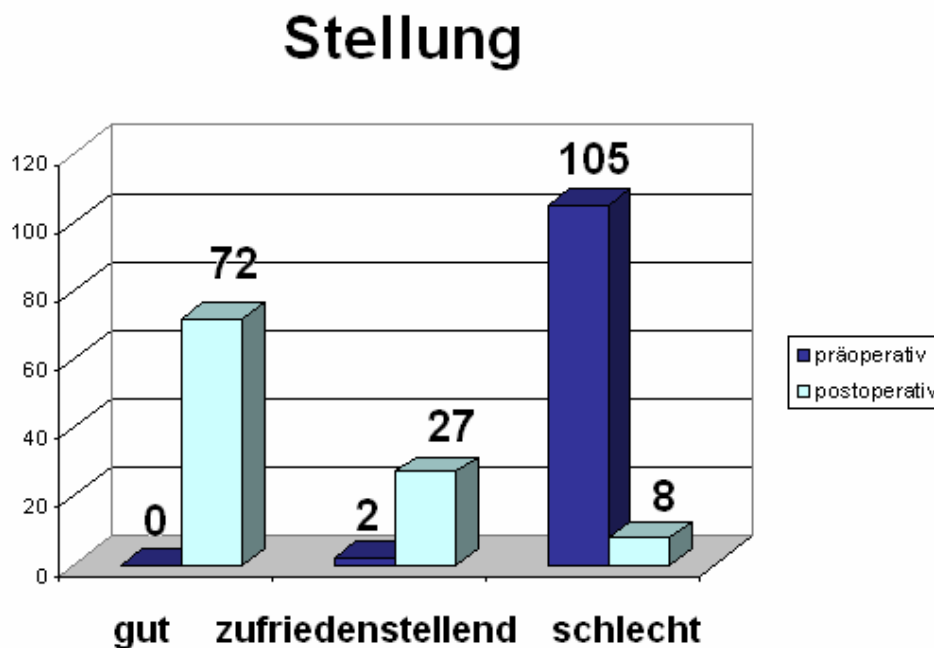
Vor dem operativen Eingriff hatten 16 Patienten (15,0%) keine oder asymptomatische und 91 Patienten (85,0%) symptomatische Schwielen am Vorfuß. Nach der Operation waren auf allen 107 Füßen (100,0%) keine oder asymptomatische Schwielen zu beobachten.

### 3.1.3 Stellung

Hinsichtlich der Stellung des Hallux bzw. der Kleinzehen unterteilt der AOFAS-Score die Patienten in drei Kategorien: a) gut (keine Fehlstellung), b) zufrieden stellend (geringe, asymptomatische Fehlstellung) und c) schlecht (offensichtliche und symptomatische Fehlstellung). Diese Unterteilung erfolgt vom Untersucher. Die von den Patienten subjektiv empfundene Zufriedenheit hinsichtlich des Ergebnisses der

Operation haben wir anhand eines Fragebogens befragt und die Ergebnisse werden in einem folgenden Kapitel präsentiert.

Die Verteilung der untersuchten Füße in den drei beschriebenen Gruppen ist auf Diagramm 8 zu sehen.



*Diagramm 8: Die Stellung des Hallux bzw. der Kleinzehen von 107 Füßen prä- (dunkelblau) und postoperativ (hellblau).*

Präoperativ war die Stellung des Hallux bzw. der Kleinzehen bei 105 Füßen (98,1%) schlecht (offensichtliche und symptomatische Fehlstellung), bei 2 Füßen (1,9%) zufrieden stellend und bei keinem Fuß (0,0%) gut. Nach der Operation war die Stellung des Hallux bzw. der Kleinzehen bei 8 Füßen (7,5%) schlecht, bei 27 Füßen (25,2%) zufrieden stellend und bei 72 Füßen (67,3%) gut (keine Fehlstellung).

Wenn man die Kategorien „gut“ und „zufrieden stellend“ zusammen nimmt, sieht man, dass von präoperativ 2 Füßen (1,9%), postoperativ 99 Füße (92,5%) in dieser gemeinsamen Gruppe aufzufinden sind, das heißt, dass bei 92,5% der operierten Füße das Ergebnis hinsichtlich der Stellung gut oder zufrieden stellend war.



## 3.2 Radiologische Untersuchung

### 3.2.1 Zwei Messtechniken im Vergleich

Bei den 100 Füßen, an denen Eingriffe am ersten Strahl durchgeführt worden sind, haben wir für die Ermittlung des präoperativen Intermetatarsalwinkels M I – M II und des präoperativen Hallux-valgus-Winkels sowohl die Methode nach Venning und Hardy (1951) als auch die Methode nach Mitchel et al. (1958) angewendet.

Je nachdem welche von den beiden Messtechniken angewendet wird, kommt es zu unterschiedlichen Ergebnissen. Sowohl für den Intermetatarsalwinkel M I – M II als auch für den Hallux-valgus-Winkel war die Differenz der Ergebnisse statistisch signifikant. Auf Tabelle 5 wird sichtbar, wie groß der Einfluss der verwendeten Messtechnik auf die Ermittlung der Winkel ist.

---

<u>Winkel</u>	<u>Messtechnik</u>		<b>p</b>
	<u>Venning und Hardy</u>	<u>Mitchel et al.</u>	
IM-Winkel M I – M II	14,1°	11,3°	< 0,001
Hallux-valgus-Winkel	28,5°	25,5°	< 0,001

---

*Tabelle 5: Der Mittelwert des präoperativen Intermetatarsalwinkels M I – M II und des präoperativen Hallux-valgus-Winkels gemessen mit der Methode nach Venning und Hardy und mit der Methode nach Mitchel et al. bei 100 Füßen.*

Der präoperative Intermetatarsalwinkel M I – M II gemessen mit der Methode nach Venning und Hardy hatte einen Mittelwert von 14,06°, der Median war 14° und die Standardabweichung war  $\pm 3,08^\circ$ . Wenn man die Methode nach Mitchel et al. anwendet, sind die Ergebnisse für den präoperativen Intermetatarsalwinkel M I – M II folgende: 11,28° (Mittelwert), 11° (Median) und  $\pm 2,89^\circ$  (Standardabweichung). Mit der ersten Messtechnik wird ein größerer Winkel gemessen. Der Mittelwert der

Differenz liegt bei  $2,8^\circ$  mit Konfidenzintervallen von  $2,4^\circ$  bis  $3,1^\circ$ . Die Differenz der gemessenen Winkel mit den zwei beschriebenen Methoden ist statistisch signifikant ( $p < 0,001$ ).

Gleiches gilt für den präoperativen Hallux-valgus-Winkel. Die Differenz der gemessenen Winkel mit der Methode nach Venning und Hardy und der Methode nach Mitchel et al. ist auch in diesem Fall statistisch signifikant ( $p < 0,001$ ). Wenn man die erste Messtechnik anwendet, ist der gemessene Hallux-valgus-Winkel größer. Die Ergebnisse mit der Methode nach Venning und Hardy sind:  $28,45^\circ$  (Mittelwert),  $28^\circ$  (Median) und  $\pm 7,96^\circ$  (Standardabweichung). Wenn man die Methode nach Mitchel et al. anwendet, sind die Ergebnisse für den präoperativen Hallux-valgus-Winkel folgende:  $25,52^\circ$  (Mittelwert),  $25^\circ$  (Median) und  $\pm 7,65^\circ$  (Standardabweichung). Die Differenz des gemessenen präoperativen Hallux-valgus-Winkels mit den zwei Messtechniken liegt im Mittel bei  $2,9^\circ$  mit Konfidenzintervallen von  $2,6^\circ$  bis  $3,3^\circ$ .

Wie bereits erörtert, besteht eine bessere Vergleichsmöglichkeit zwischen prä- und postoperativen Ergebnissen der Winkelmessungen, wenn man die Messtechnik nach Mitchel et al. anwendet, weil die Anwendung der Methode nach Venning und Hardy nach durchgeführter Osteotomie am Metatarsale – I problematisch ist. Aus diesem Grund sind für die vorliegende Untersuchung alle postoperativen Winkel mit der Methode nach Mitchel et al. gemessen worden. Die Ergebnisse dieser Messungen sind mit den präoperativ nach Mitchel et al. gemessenen Winkeln verglichen worden.

### 3.2.2 Intermetatarsalwinkel M I – M II

Die Ergebnisse der Messungen des Intermetatarsalwinkels M I – M II bei den 100 am ersten Strahl operierten Füßen der vorliegenden Untersuchung sind auf Tabelle 6 zu sehen.

Die Veränderung des Intermetatarsalwinkels M I – M II nach durchgeführter Operation war statistisch signifikant ( $p < 0,001$ ). Dies gilt sowohl für die erste Messung (6 Wochen postoperativ) als auch für den nach einem Jahr bestimmten Intermetatarsalwinkel M I – M II.

<u>IM-Winkel M I – M II</u>	<u>prä-OP</u>	<u>post-OP</u>		
		<u>6 Wochen</u>	<u>6 Monate</u>	<u>1 Jahr</u>
Mittelwert	11,3°	7,1°	7,5°	7,6°
Minimum	5°	1°	1°	1°
Maximum	19°	14°	14°	14°
Median	11°	7°	7°	7°
Stanardabweichung	± 2,9°	± 3,0°	± 3,0°	± 2,9°

*Tabelle 6: Ergebnisse der radiologischen Untersuchung in Bezug auf den Intermetatarsalwinkel M I – M II prä- und postoperativ bei 100 am ersten Strahl operierten Füßen.*

Ein Jahr nach der Operation war der Intermetatarsalwinkel M I – M II im Durchschnitt um 3,7° kleiner als der präoperativ gemessene IM-Winkel. Die Konfidenzintervalle lagen zwischen 3,2° und 4,2° (Tab. 7).

<b>p</b>	Mittelwert der Differenz	<u>95% Konfidenzintervalle der Differenz</u>	
		geringste	höchste
< 0,001	3,7°	3,2°	4,2°

*Tabelle 7: Statistische Signifikanz und Höhe der Differenz zwischen dem präoperativen und dem postoperativen (1 Jahr) Intermetatarsalwinkel M I – M II.*

Bemerkenswert ist auch die Tatsache, dass der Intermetatarsalwinkel M I – M II von der 6. postoperativen Woche bis zum 6. postoperativen Monat eine geringfügige Vergrößerung aufweist (durchschnittlich um 0,4°), die aber statistisch signifikant ist (p = 0,013). Dagegen ist vom 6. bis zum 12. postoperativen Monat keine statistisch signifikante Veränderung des IM-Winkels zu beobachten (p = 0,140).

Diese Beobachtung spricht dafür, dass sich die definitiven Ergebnisse einer durchgeführten Operation nicht gleich postoperativ, sondern nach den ersten sechs Monaten sagen lassen. Aus diesem Grund werden für die vorliegende Untersuchung

die präoperativen Daten mit den Ergebnissen der Messungen verglichen, die 1 Jahr nach der Operation durchgeführt wurden.

### 3.2.3 Hallux-valgus-Winkel

Auf Tabelle 8 sind die Ergebnisse der Messungen des Hallux-valgus-Winkels (präoperativ, sowie 6 Wochen, 6 Monate und 1 Jahr postoperativ) zu sehen.

<u>Hallux-valgus-Winkel</u>	<u>prä-OP</u>	<u>post-OP</u>		
		<u>6 Wochen</u>	<u>6 Monate</u>	<u>1 Jahr</u>
Mittelwert	25,5°	7,3°	8,3°	8,3°
Minimum	6°	-6°	-8°	-9°
Maximum	57°	30°	32°	32°
Median	25°	7°	8°	8°
Standardabweichung	± 7,6°	± 6,4°	± 7,8°	± 8,0°

*Tabelle 8: Ergebnisse der radiologischen Untersuchung in Bezug auf den Hallux-valgus-Winkel prä- und postoperativ bei 100 am ersten Strahl operierten Füßen.*

Auch der Wert des Hallux-valgus-Winkels veränderte sich statistisch signifikant nach der Operation ( $p < 0,001$ ). Ein Jahr postoperativ war der Hallux-valgus-Winkel um durchschnittlich 17,2° kleiner als der präoperativ gemessene Winkel. Die Konfidenzintervalle lagen in diesem Fall zwischen 15,7° und 18,7° (Tab. 9).

<b>p</b>	Mittelwert der Differenz	<u>95% Konfidenzintervalle der Differenz</u>	
		geringste	höchste
< 0,001	17,2°	15,7°	18,7°

*Tabelle 9: Statistische Signifikanz und Höhe der Differenz zwischen dem präoperativen und dem postoperativen (1 Jahr) Hallux-valgus-Winkel.*

Wie schon beim Intermetatarsalwinkel M I – M II zu beobachten war, zeigt sich auch beim Hallux-valgus-Winkel eine statistisch signifikante Vergrößerung (im Durchschnitt um 1,0°) von der 6. postoperativen Woche bis zum 6. postoperativen Monat ( $p < 0,026$ ). Vom 6. bis zum 12. postoperativen Monat ist keine statistisch signifikante Veränderung des Hallux-valgus-Winkels zu beobachten ( $p = 0,949$ ).

### 3.2.4 Rezidive

Als Kriterium für die Ermittlung der Rezidive nahmen wir den Wert des postoperativen Hallux-valgus-Winkels. Für den Hallux valgus sowie für das Hallux valgus Rezidiv besteht keine exakte radiologische Definition. Wie bereits erwähnt, setzt Roger Mann (1986) die oberste Grenze des physiologischen Metatarsophalangealwinkels des ersten Strahles bei 15°.

Für die vorliegende Untersuchung wurden alle Fälle mit einem postoperativen Hallux-valgus-Winkel von über 15° als Rezidive angesehen. Demnach gab es insgesamt 16 Rezidive. Der Hallux-valgus-Winkel bei dieser Gruppe von Füßen war prä- und postoperativ (6 Wochen, 6 Monate und 1 Jahr) wie auf Tabelle 10 zu sehen ist.

<b><u>Hallux-valgus-Winkel</u></b>	<b><u>prä-OP</u></b>	<b><u>post-OP</u></b>		
		<b><u>6 Wochen</u></b>	<b><u>6 Monate</u></b>	<b><u>1 Jahr</u></b>
Mittelwert	30,7°	14,8°	20,3°	21,2°
Minimum	21°	0°	16°	16°
Maximum	44°	30°	32°	32°

*Tabelle 10: Der Hallux-valgus-Winkel der Rezidive (16 Füße) prä- und postoperativ.*

Bei dieser Gruppe lag der präoperative Hallux-valgus-Winkel im Durchschnitt über 30°, gemessen nach der Methode von Mitchel et al. Es handelte sich also um Füße, die eine ausgeprägte Hallux-valgus-Deformität aufwiesen.

Auch bei diesen 16 Füßen veränderte sich der Wert des Hallux-valgus-Winkels statistisch signifikant nach der Operation ( $p < 0,001$ ). Ein Jahr postoperativ war der

Hallux-valgus-Winkel um durchschnittlich 9,5° kleiner als der präoperativ gemessene Winkel.

Von der 6. postoperativen Woche bis zum 6. postoperativen Monat Vergrößerte sich der Hallux-valgus-Winkel statistisch signifikant ( $p = 0,001$ ). Die Vergrößerung des Winkels betrug im Durchschnitt 5,5°. Vom 6. bis zum 12. postoperativen Monat war keine statistisch signifikante Veränderung des Hallux-valgus-Winkels zu beobachten ( $p = 0,216$ ).

Dies spricht dafür, dass ein Rezidiv relativ früh zu beobachten ist, in der Regel während der ersten 6 Monate. Nach dem 6. Monat gab es weder bei der Gruppe der Rezidive (16 Füße), noch insgesamt betrachtet (100 Füße) eine statistisch signifikante Veränderung des Hallux-valgus-Winkels.

### 3.2.5 Intermetatarsalwinkel M IV – M V

Bei 8 Füßen der vorliegenden Untersuchung wurden Korrekturosteotomien am Metatarsale V durchgeführt (4 Scarf- und 4 Chevron-Osteotomien). Bei dieser Gruppe wurde prä- und postoperativ der Intermetatarsalwinkel M IV – M V nach der bereits beschriebenen Messtechnik von Nestor et al. (1990) gemessen. Die Ergebnisse werden auf Tabelle 11 präsentiert.

<b><u>IM-Winkel M IV – M V</u></b>	<b><u>prä-OP</u></b>	<b><u>post-OP</u></b>		
		<u>6 Wochen</u>	<u>6 Monate</u>	<u>1 Jahr</u>
Mittelwert	9,8°	1,8°	1,6°	1,6°
Minimum	8°	-2°	-2°	-2°
Maximum	12°	5°	5°	5°
Median	9,5°	2,5°	2,5°	2,5°
Stanardabweichung	± 1,9°	± 2,8°	± 2,7°	± 2,7°

*Tabelle 11: Ergebnisse der radiologischen Untersuchung in Bezug auf den Intermetatarsalwinkel M IV – M V prä- und postoperativ bei 8 am fünften Strahl operierten Füßen.*

Ein Jahr nach der Operation war der Intermetatarsalwinkel M IV – M V im Durchschnitt um 8,2° kleiner als der präoperativ gemessene Winkel. Die Konfidenzintervalle lagen zwischen 5,7° und 10,6° (Tab. 12). Diese Veränderung war statistisch signifikant ( $p < 0,001$ ).

p	Mittelwert der Differenz	95% Konfidenzintervalle der Differenz	
		geringste	höchste
< 0,001	8,2°	5,7°	10,6°

*Tabelle 12: Statistische Signifikanz und Höhe der Differenz zwischen dem präoperativen und dem postoperativen (1 Jahr) Intermetatarsalwinkel M IV – M V.*

Die gemessenen Intermetatarsalwinkel M IV – M V der 6. postoperativen Woche im Vergleich zu den Messungen des 6. und 12. postoperativen Monats wiesen keine statistisch signifikante Differenz auf ( $p = 0,351$ ). Dies bedeutet, dass das durch die Operation am fünften Strahl erzielte Ergebnis über den gesamten Zeitraum der Nachuntersuchung fast unverändert blieb, im Gegensatz zu den bereits präsentierten Ergebnissen der Eingriffe am ersten Strahl. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass das Material dieser Gruppe aus 8 Füßen besteht und deshalb nicht die gleiche statistische Aussagekraft hat, wie die Gruppe der 100 Füße, an denen Operationen am ersten Strahl durchgeführt worden sind.

### 3.2.6 Tibiale Sesambeinposition

Die Position des tibialen Sesambeines nach der Einteilung von Hardy und Clapham (1951) war bei den 100 am ersten Strahl operierten Füßen wie auf Tabelle 13 zu sehen ist.

Ein Jahr nach der Operation war die tibiale Sesambeinposition im Durchschnitt 2,7. Präoperativ war der sie durchschnittlich 5,5. Die Veränderung der Position des tibialen Sesambeines nach der Operation war statistisch signifikant ( $p < 0,001$ ).

Wie schon beim Intermetatarsalwinkel M I – M II und beim Hallux-valgus-Winkel zu beobachten war, zeigt sich auch in diesem Fall eine statistisch signifikante Veränderung der tibialen Sesambeinposition (im Durchschnitt um 0,3) von der 6. postoperativen Woche bis zum 6. postoperativen Monat ( $p < 0,001$ ). Vom 6. bis zum 12. postoperativen Monat ist dagegen keine statistisch signifikante Veränderung der Position des tibialen Sesambeines zu beobachten ( $p = 0,708$ ).

<b><u>TSP (1-7)</u></b>	<b><u>prä-OP</u></b>	<b><u>post-OP</u></b>		
		<b><u>6 Wochen</u></b>	<b><u>6 Monate</u></b>	<b><u>1 Jahr</u></b>
Mittelwert	5,5	2,4	2,7	2,7
Minimum	1	1	1	1
Maximum	7	5	6	6
Median	5	2	3	3
Stanardabweichung	± 1,4	± 1,3	± 1,4	± 1,4

*Tabelle 13: Ergebnisse der radiologischen Untersuchung in Bezug auf die tibiale Sesambeinposition prä- und postoperativ bei 100 am ersten Strahl operierten Füßen.*

Auch diese Beobachtung spricht dafür, dass sich die definitiven Ergebnisse nach Operation am ersten Strahl nach den ersten sechs Monaten sagen lassen.

Wie bereits erwähnt, wird von Hardy und Clapham die nach ihrer Einteilung dritte Position des tibialen Sesambeines (TSP 3) als physiologisch angesehen, das heißt die Position bei der auf dem dorsoplantaren Rö-Bild des Fußes im Stehen und unter Gewichtsbelastung das Sesambein die Längsachse des Metatarsale I um weniger als die Hälfte lateral überlappt.

### 3.2.7 Metatarsalindex

Bei den 100 am ersten Strahl operierten Füßen vorliegender Untersuchung war keine statistisch signifikante Veränderung des Metatarsalindexes zu beobachten. Präoperativ war der Metatarsalindex durchschnittlich – 1,3mm und ein Jahr postoperativ – 1,5mm ( $p = 0,676$ ). Die Ergebnisse der Messungen sind auf Tabelle 14 zu sehen.

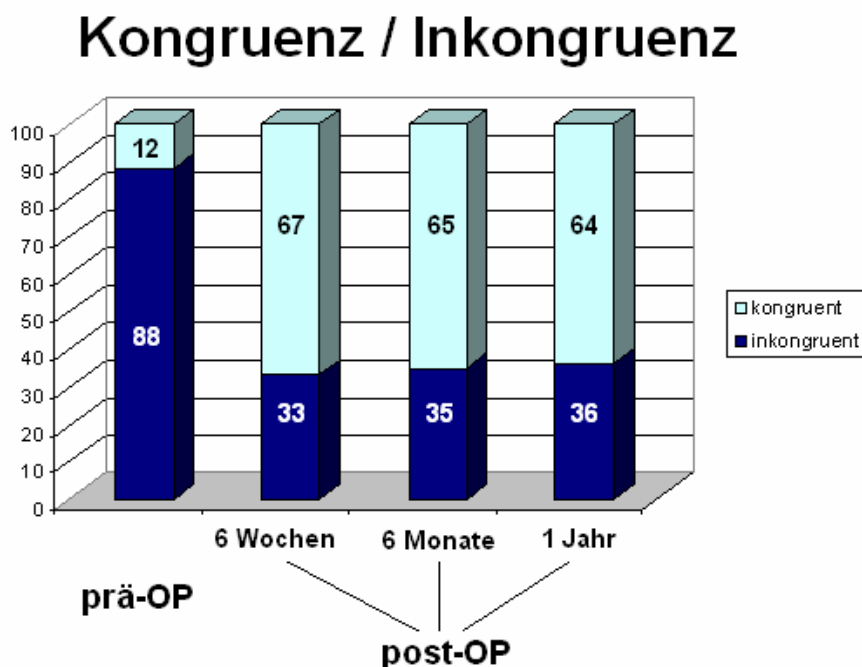


<u>Metatarsalindex</u>	<u>prä-OP</u>	<u>post-OP</u>		
		<u>6 Wochen</u>	<u>6 Monate</u>	<u>1 Jahr</u>
Mittelwert	-1,3mm	-1,3mm	-1,5mm	-1,5mm
Minimum	-12mm	-10mm	-10mm	-10mm
Maximum	5mm	7mm	7mm	7mm
Median	-1,0mm	-1,0mm	-1,0mm	-1,0mm
Stanardabweichung	± 3,1mm	± 3,1mm	± 3,1mm	± 3,1mm

*Tabelle 14: Ergebnisse der radiologischen Untersuchung in Bezug auf den Metatarsalindex prä- und postoperativ bei 100 am ersten Strahl operierten Füßen.*

### 3.2.8 Kongruenz

Das Verhältnis der kongruenten zu den inkongruenten ersten Metatarsophalangealgelenken (MP I) prä- sowie postoperativ wird auf Diagramm 9 dargestellt.



*Diagramm 9: Das Verhältnis der kongruenten (hellblau) zu den inkongruenten (dunkelblau) ersten Metatarsophalangealgelenken prä- und postoperativ (6 Wochen, 6 Monate und 1 Jahr) bei 100 am ersten Strahl operierten Füßen.*

Wie auf dem Diagramm zu erkennen ist, hatten präoperativ von den 100 am ersten Strahl operierten Füßen nur 12 ein kongruentes erstes Metatarsophalangealgelenk. Ein Jahr postoperativ war die Anzahl der kongruenten MP I-Gelenke 64.

### 3.2.9 Kleinzechenkorrekturen

Für die vorliegende Untersuchung sind bei 46 Füßen (von den insgesamt 107 operierten) 72 Arthrodesen an Interphalangealgelenken der Kleinzechen durchgeführt worden. Davon 69 an den proximalen (PIP) und 3 an den distalen Interphalangealgelenken (DIP). Von den PIP-Arthrodesen waren 42 an der zweiten, 17 an der dritten, 9 an der vierten und 1 an der fünften Kleinzehe. Jeweils eine DIP-Arthrodesen wurde an der zweiten, der dritten und der vierten Kleinzehe durchgeführt (Tab. 15).

<b><u>Arthrodesen:</u></b>	<b><u>DIP</u></b>	<b><u>PIP</u></b>
Dig. <b>II</b>	1	42
Dig. <b>III</b>	1	17
Dig. <b>IV</b>	1	9
Dig. <b>V</b>	0	1
<u>Summe:</u>	3	69
<b><u>Summe (gesamt):</u></b>	<b>72</b>	

*Tabelle 15: Die Anzahl der durchgeführten Arthrodesen an Interphalangealgelenken der Kleinzechen bei 46 Füßen.*

Von den insgesamt 72 durchgeführten Arthrodesen kam es bei 44 Interphalangealgelenken zu einer Fusion (61,1%). Von diesen 44 Fusionen waren 19 (43,2%) schon bei der radiologischen Nachuntersuchung sechs Wochen nach der Operation zu erkennen. Die übrigen 25 Fusionen (56,8%) waren erst auf den Röntgenbildern des sechsten postoperativen Monats festzustellen.

Bei den 28 Interphalangealgelenken (38,9%) bei denen es nicht zu einer Fusion gekommen ist, übernahm der eingesetzte resorbierbare Pin die Aufgabe der temporären Fixation, für die sonst der Einsatz von Kirschner-Drähten nötig gewesen wäre. Dadurch ergaben sich keine Nachteile im Vergleich zu den üblichen DIP- oder PIP-Arthroplastiken ohne Einsatz von resorbierbaren Implantaten.

### 3.2.10 Metatarsale-Variation

Bei 21 Füßen sind für die vorliegende Studie insgesamt 62 Weil-Osteotomien durchgeführt worden. Die genaue Anzahl pro Metatarsalknochen ist folgender Tabelle zu entnehmen (Tab. 16).

<b><u>Weil-Osteotomien</u></b>	Met. II	Met. III	Met. IV	Met. V	<b><u>Summe</u></b>
<u>Anzahl:</u>	21	19	12	10	<b>62</b>

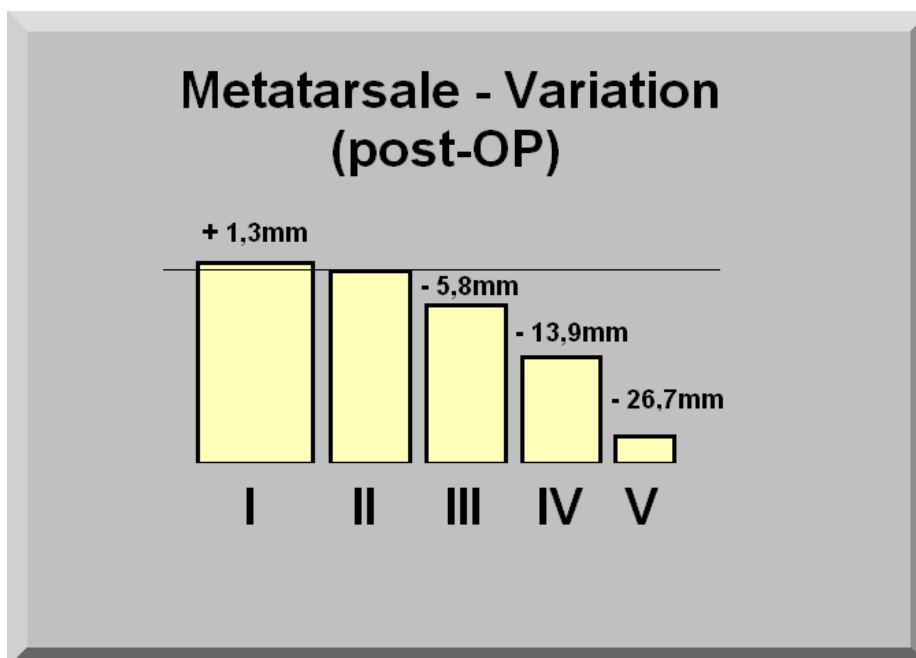
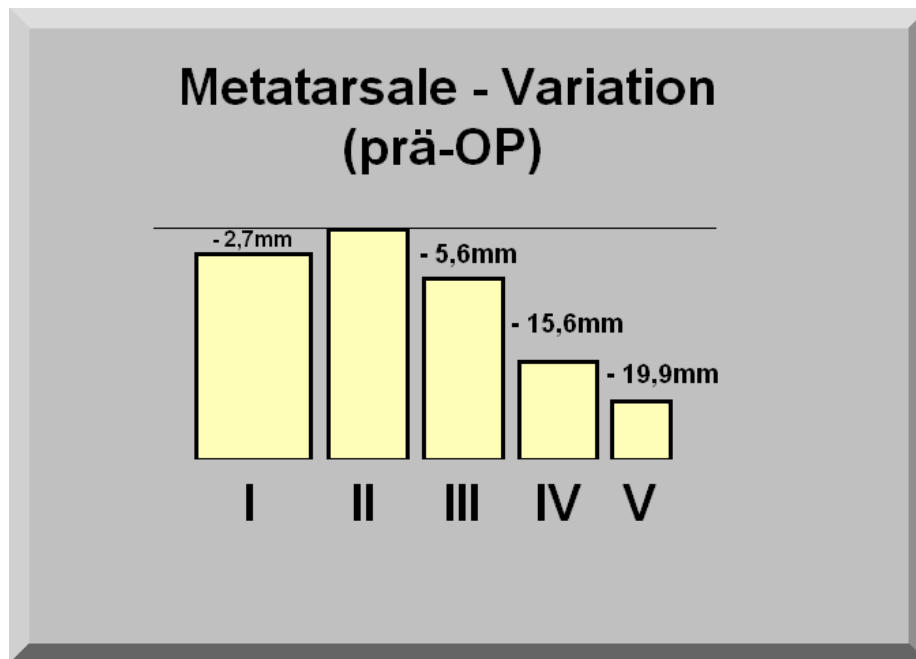
*Tabelle 16: Die Anzahl der durchgeführten Weil-Osteotomien pro Metatarsalknochen bei 21 operierten Füßen.*

Wie auf Tabelle 16 zu erkennen ist, wurde bei allen 21 operierten Füßen dieser Gruppe eine Weil-Osteotomie am Metatarsale II durchgeführt. Bei 19 Füßen (90,5%) davon waren zusätzliche Weil-Osteotomien nötig um ein gutes Metatarsale „Alignement“ herzustellen. Bei 10 Füßen (47,6%) musste man sogar die Metatarsalia II bis V osteotomieren um dies zu erreichen.

Man sieht also, dass bei den wenigsten Patienten dieser Gruppe (2 Füße / 9,5%) nur die Durchführung einer einzigen Weil-Osteotomie ausreichend war. Dies ist sowieso problematisch, wenn man auf ein harmonisches postoperatives „Alignement“ der Metatarsalia achtet und eine Transfermetatarsalgie verhindern möchte.

Wie bereits erwähnt, haben wir bei allen Patienten, an denen Weil-Osteotomien durchgeführt wurden, die prä- sowie postoperative Metatarsale-Variation (Längendifferenz der Metatarsalia I, III, IV und V in Bezug auf Metatarsale II) bestimmt (Abb. 23).

Die durchschnittlichen Längenverhältnisse der Metatarsalknochen zueinander bei den 21 operierten Füßen dieser Gruppe sind auf den Abbildungen 25 (präoperativ) und 26 (postoperativ) zu sehen.



*Abbildungen 25 und 26: Die durchschnittliche Metatarsale-Variation prä- und postoperativ bei 21 Füßen, an denen Weil-Osteotomien durchgeführt worden sind.*

Von präoperativ 4 Füßen (19,0%) mit einer Index-Plus-Variante war postoperativ bei 10 Füßen (47,6%) dieser Gruppe das Metatarsale I länger als das Metatarsale II. Einen Index-Plus-Minus hatten vor der Operation 2 (9,5%) und danach 6 Füße (28,6%). Die übrigen 15 Füße (71,4%) hatten präoperativ einen Index-Minus. Postoperativ war das Metatarsale I bei 5 Füßen (23,8%) kürzer als das Metatarsale II (Tab. 17).

<b><u>Metatarsalindex :</u></b>	<b>+</b>	<b>±</b>	<b>-</b>
<u>präoperativ</u>	4	2	15
<u>postoperativ</u>	10	6	5

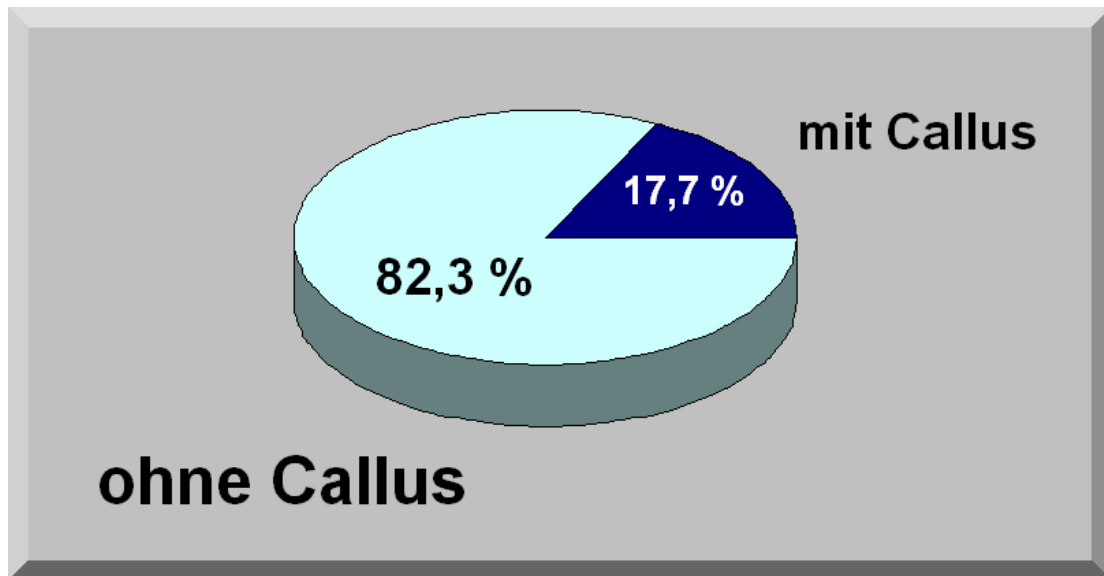
*Tabelle 17: Der Metatarsalindex der 21 Füße, an denen Weil-Osteotomien durchgeführt worden sind, vor und nach der Operation.*

Auf den Abbildungen 25 und 26 sowie auf Tabelle 17 ist die Auswirkung der Weil-Osteotomie auf den Metatarsalindex eindeutig zu erkennen. Präoperativ war das Metatarsale II um durchschnittlich 2,7mm länger und postoperativ um 1,3mm kürzer als das Metatarsale I. Es gab also eine Verkürzung des Metatarsale II durch die Weil-Osteotomie um 4,0mm im Durchschnitt.

Die Verkürzung der Metatarsalia III bis V richtet sich nach der Verkürzung des Metatarsale II. Das distale Ende des Metatarsale II dient als Bezugspunkt bei der Durchführung von Weil-Osteotomien an den Metatarsalknochen.

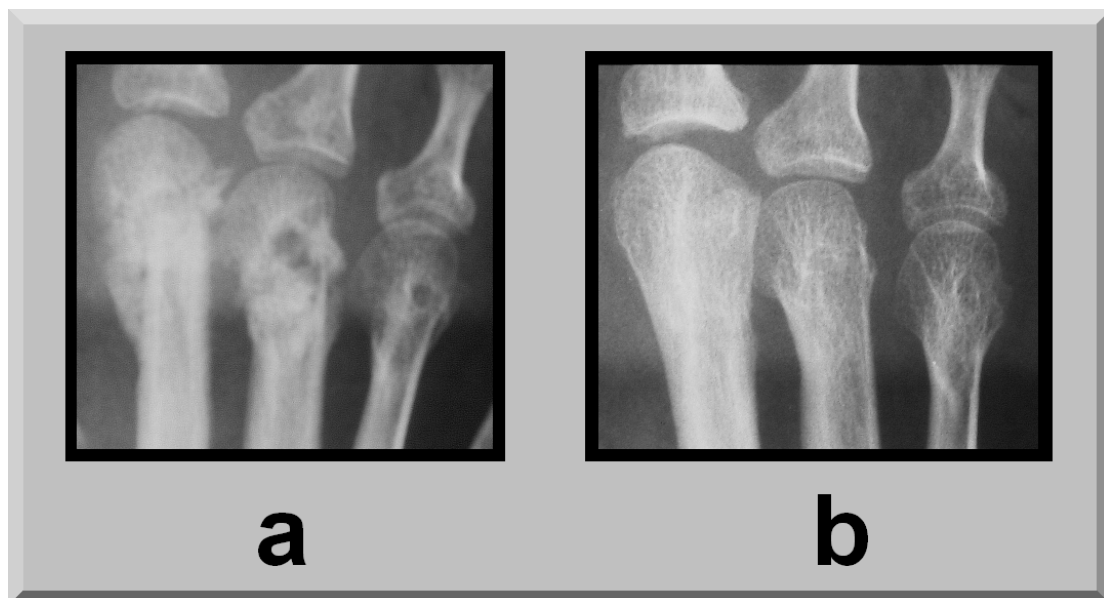
### 3.2.11 Callusbildung

Wie in einem früheren Kapitel schon erwähnt, ist bei einigen der durchgeführten Weil-Osteotomien dieser Untersuchung eine Ausheilung mit Bildung von Callus beobachtet worden (Abb. 24). Dies war bei 11 (17,7%) von den insgesamt 62 durchgeführten Weil-Osteotomien der Fall (Diagramm 10).



*Diagramm 10: Ausheilung mit (dunkelblau) und ohne Callusbildung (hellblau) bei 62 Weil-Osteotomien, die mit resorbierbaren Schrauben versorgt wurden.*

Mit oder ohne Callusbildung heilten alle 62 Weil-Osteotomien aus. Auf folgender Abbildung ist ein Fall von zwei Weil-Osteotomien zu sehen, die mit Bildung von Callus ausheilten (Abb. 27).



*Abb. 27: Postoperative Röntgen-Bilder nach durchgeführten Weil-Osteotomien an den Metatarsalia II bis IV.*

- a) 6. postoperativer Monat (Callusbildung an Metatarsale II und III).*
- b) 12. postoperativer Monat (alle drei Weil-Osteotomien heilten gut aus).*

Bei den Füßen, an denen Callusbildung zu beobachten war, kam es zu dorsalen Prominenzen über den Metatarsalköpfchen, die von den Patienten als unangenehm empfunden wurden. Die Abbildung 28 zeigt eine dreidimensionale Rekonstruktion (Multislice-Computertomogramm) des Fußes, der auf Abbildung 27a zu sehen ist.



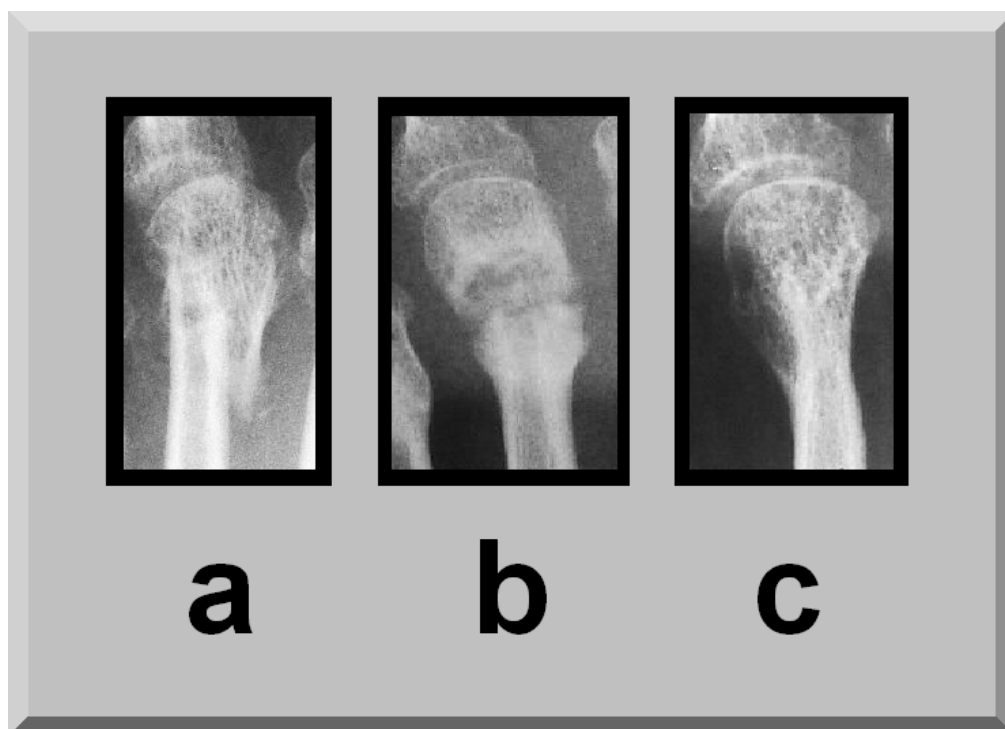
*Abb. 28: Dreidimensionale Darstellung eines Vorfußes, an dem Weil-Osteotomien an den Metatarsalia II bis IV durchgeführt worden sind, 6 Monate nach der Operation. An den Metatarsalia II und III ist Callusbildung zu erkennen.*

Das Ausheilen mit Callusbildung ist ein Zeichen von instabiler Osteosynthese. Die bei den Weil-Osteotomien eingesetzten 2,0mm LactoSorb®-Schrauben sitzen distal in spongiosen Knochen und bieten deshalb nicht die gleiche Stabilität, wie sie bei kortikaler Fixation üblich ist. Das Ausheilen der Weil-Osteotomien mit Callus war mit der radiologisch erkennbaren Vergrößerung der Bohrlöcher in Zusammenhang zu bringen.

### 3.2.12 Vergrößerung der Bohrlöcher / Lysen

Eine Vergrößerung der Bohrlöcher war in 10 Fällen radiologisch zu beobachten. Bei allen 10 Fällen handelte es sich um Bohrlöcher von Schrauben, die zur Fixation von Weil-Osteotomien eingesetzt wurden. Von den 62 Weil-Osteotomien gab es also bei 10 (16,1%) eine Vergrößerung des Bohrlochs. Wenn man die Zahl der insgesamt 355 eingesetzten Schrauben betrachtet (Tab. 1), dann machen diese 10 Fälle nur noch ein 2,8% aus.

In zwei Fällen waren radiologisch Lysen zu beobachten, wiederum nach durchgeführten Weil-Osteotomien. Von den 62 Weil-Osteotomien dieser Untersuchung machen diese zwei Lysen ein 3,2% aus. Wenn man die Zahl der insgesamt 427 eingesetzten resorbierbaren Implantate berücksichtigt (Tab. 1), dann kommt man auf ein 0,46%.



*Abb. 29: Postoperative Rö-Bilder einer Weil-Osteotomie am Metatarsale III.*

- a) 6. postoperative Woche (das Bohrloch ist zu erkennen).*
- b) 6. postoperativer Monat (Lyse).*
- c) 12. postoperativer Monat (ausgeheilt).*

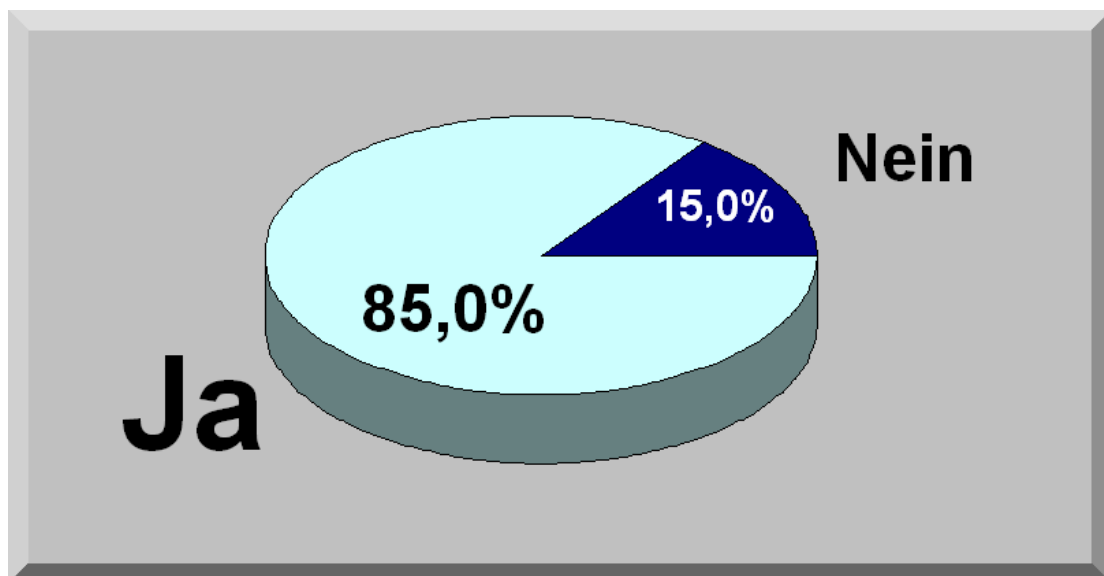


Wie bereits erwähnt, heilten alle 62 durchgeführten Weil-Osteotomien aus (Abb. 29). Die Vergrößerung der Bohrlöcher und die aufgetretenen Lysen in der Gruppe der Weil-Osteotomien sind wahrscheinlich, wie auch die Callusbildung, mit der instabilen Fixation durch die im spongiösen Knochen sitzende resorbierbare Schraube in Zusammenhang zu bringen und weniger mit Reaktionen auf die Implantate oder Resorptionsproblemen. Dafür spricht auch der Fakt, dass diese Beobachtungen nur in der Gruppe der 62 Weil-Osteotomien gemacht wurden und bei keinem anderen der restlichen 273 Eingriffe vorliegender Untersuchung (Tab. 1).

### 3.3 Patientenzufriedenheit

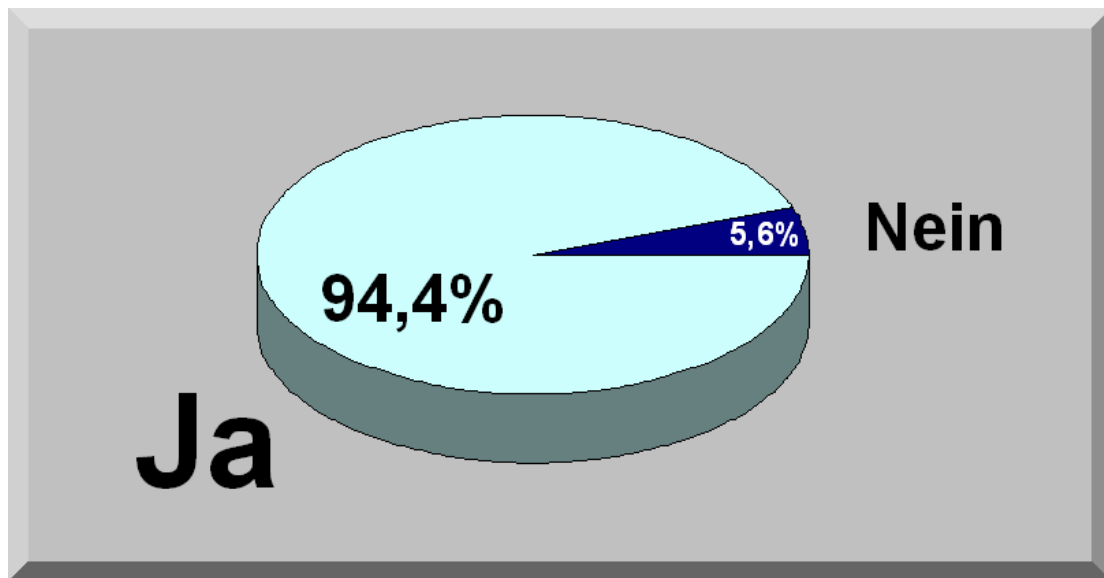
Zur Bewertung der subjektiven Zufriedenheit der Patienten wurde der in einem früheren Kapitel bereits vorgestellte Fragebogen verwendet. Drei Fragen sollten von den Patienten ein Jahr nach durchgeführter Operation mit einem „Ja“ oder einem „Nein“ beantwortet werden.

Die erste Frage („Sind Sie mit dem Gesamtergebnis der Operation zufrieden?“) wurde in 91 von insgesamt 107 Fällen (85,0%) bejaht und in 16 Fällen (15,0%) verneint (Diagramm 11).

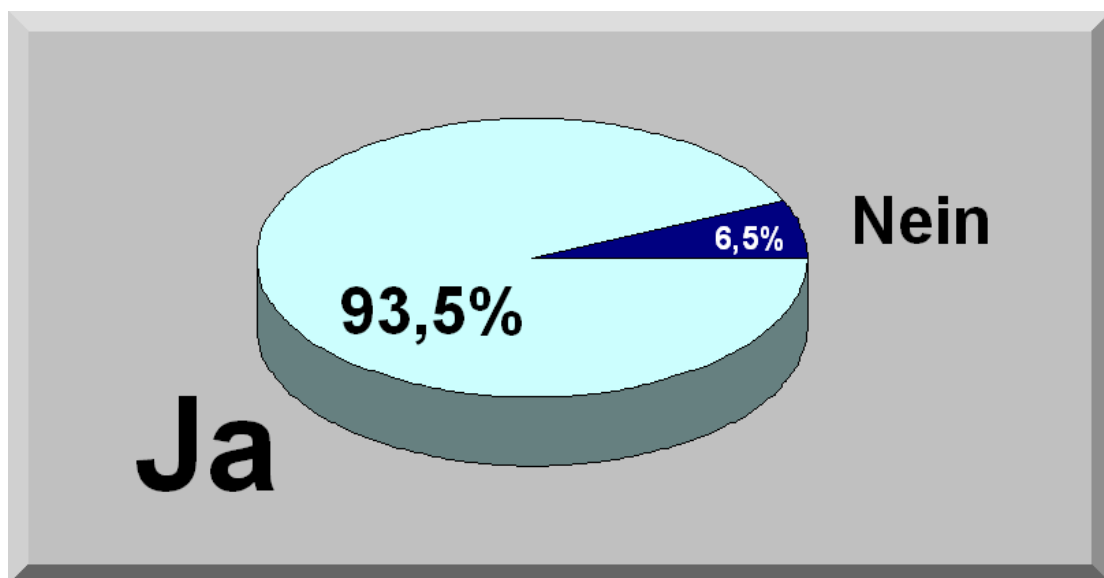


*Diagramm 11: Die Patientenzufriedenheit in Bezug auf das Gesamtergebnis der Operation bei den 107 operierten Füßen vorliegender Untersuchung.*

Auf die Frage „Sind Sie mit dem kosmetischen Ergebnis der Narben zufrieden?“ antworteten mit „Ja“ 101 (94,4%) und mit „Nein“ 6 (5,6%) Patienten (Diagramm 12).



*Diagramm 12: Die Patientenzufriedenheit in Bezug auf das kosmetische Ergebnis der Narben bei 107 operierten Füßen.*



*Diagramm 13: Von den behandelten Patienten vorliegender Untersuchung würden 93,5% zur Operation raten.*

Die dritte und letzte Frage „*Würden Sie einem Verwandten oder Freund mit demselben Problem zu einer gleichen Operation raten?*“ wurde 100 Mal (93,5%) bejaht und 7 Mal (6,5%) verneint (Diagramm 13).

Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei dem Material vorliegender Studie um Patienten, die komplexe Vorfußdeformitäten hatten. Bei den meisten waren mehr als ein knöcherner Eingriff erforderlich um die Deformität zu korrigieren. Selbstverständlich war der präoperativer Ausgangsbefund nicht bei allen Patienten gleich schwer. Dieser hatte seine Auswirkung sowohl auf das Operationsergebnis, als auch auf die subjektiv empfundene Patientenzufriedenheit.

Das Ergebnis 85,0% Zufriedenheit der Patienten in Bezug auf das Gesamtergebnis der Operation bezieht sich auf die Summe der operierten Füße. Bei den Füßen, an denen Korrekturosteotomien am ersten Strahl und zusätzlich eine oder mehrere Weil-Osteotomien an den Strahlen II bis V durchgeführt wurden (n=21) war die Patientenzufriedenheit 66,7%. Bei den Füßen hingegen mit weniger ausgeprägten Deformitäten, wo nur Eingriffe am ersten Strahl notwendig waren (n=47), war die subjektive Patientenzufriedenheit mit 95,7% erheblich größer.

### **3.4 Komplikationen**

Zwei Patientinnen, die am ersten Strahl operiert worden sind, gaben eine dorsale Druckempfindlichkeit am Metatarsale I an. Diese Druckempfindlichkeit war in beiden Fällen ungefähr ab dem sechsten Monat an den Stellen über den Schraubenköpfen der eingesetzten LactoSorb®-Schrauben zu spüren. Beide Patientinnen wurden zehn Monate nach dem ersten Eingriff revidiert. Es zeigte sich, dass die Schraubenköpfe komplett resorbiert waren. An deren Stelle war fibromatöses Bindegewebe aufzufinden. Die Bohrlöcher waren noch mit nicht aufgelöster Polylactidsäure gefüllt (wie bereits in der Einleitung beschrieben, resorbiert sich Polylactidsäure wesentlich langsamer als Polyglycolsäure). Das fibromatöse Bindegewebe und die noch nicht resorbierte Polylactidsäure wurden entfernt und beide Patientinnen waren nach dem zweiten Eingriff beschwerdefrei.

Eine 28jährige Patientin, die am fünften Strahl operiert worden ist, zeigte eine primäre Wundheilungsstörung. Sie wurde antibiotisch vom fünften bis zum sechzehnten postoperativen Tag behandelt. In der achten postoperativen Woche (zeitgleich mit der erhöhten Hydrolyse der PGA/PLA-Copolymer-Implantate) entwickelte sich eine tiefe Infektion. Zu diesem Zeitpunkt befand sich die Patientin im Ausland und dort wurde sie auch revidiert. Das Osteosynthesematerial wurde entfernt. Die Wunde heilte unter Gabe von Antibiose gut aus. Ein Jahr nach der ersten Operation ließ sie sich auch den anderen Fuß operieren (wieder am Metatarsale V und mit resorbierbaren Implantaten als Osteosynthesematerial). Der postoperative Verlauf war diesmal komplikationslos.

Bei zwei Patientinnen aus der Gruppe der Chevron-Osteotomien kam es zu einem Versagen der Osteosynthese in den ersten postoperativen Tagen. Beide wurden gleich revidiert. Bei der Revision zeigte sich, dass in diesen Fällen die LactoSorb®-Schrauben keinen Halt in der plantaren Gegenkortikalis des Metatarsalknochens hatten, sondern in der Spongiosa positioniert waren. Bei der einen Patientin setzten wir zur Fixation einen glatten Kirschner-Draht ein. Die andere Patientin wurde nochmals mit LactoSorb®-Schrauben versorgt. Der weitere Verlauf entwickelte sich in beiden Fällen ohne Komplikationen.

Ein übergewichtiger, männlicher Patient aus der Gruppe der Scarf-Osteotomien erlitt eine proximale, diaphysäre Fraktur des dorsalen Fragmentes des Metatarsale I, ohne dass die Osteosynthese durch die resorbierbaren Schrauben versagte. Die Fraktur wurde konservativ durch Ruhigstellung mittels eines Pflasterverbandes behandelt und heilte ohne besondere Dislokation gut aus. Fraktur an dieser Stelle ist eine bekannte, mögliche Komplikation der Scarf-Osteotomie und steht nicht in Zusammenhang mit den in diesem Fall eingesetzten resorbierbaren Implantaten.

## **4. Diskussion**

### **4.1 Metallimplantate vs. resorbierbare Implantate**

Die Korrektur der verschiedenen Vorfußdeformitäten erfordert in den meisten Fällen die Durchführung von Osteotomien an den Metatarsalknochen und den Phalangen des Fußes. Die Osteosynthese der osteotomierten Knochen erfolgt durch technische Mittel, wie Drähte, Stifte, Schrauben oder Platten. Diese technischen Mittel werden in der Medizin Implantate genannt. In der Vorfußchirurgie werden zur Fixierung von Korrekturosteotomien vorwiegend metallische Implantate verwendet.

Metallimplantate sind wegen ihrer mechanischen Eigenschaften gut geeignet, da sie eine ausreichende Stabilisierung der Knochenfragmente bis zur Knochenheilung gewährleisten. Sie bringen aber auch gewisse Nachteile mit sich. Zu diesen gehören: a) die Entfernung der Metallimplantate bedingt einer zweiten Operation, verbunden mit zusätzlicher Belastung für den Patienten, einem kostenintensiven Klinikaufenthalt und manchmal ernststen Komplikationen, b) die Osteotomiestelle kann nur bedingt durch Röntgenaufnahme sichtbar gemacht werden, c) tomographische Aufnahmen können artefaktbehaftet sein, d) Korrosionsprodukte der metallischen Implantate können eine körperschädigende Wirkung haben und e) es kann nach der Implantation zum Effekt des so genannten „stress-shielding“ kommen, das heißt, zur mechanischen Abschirmung des Knochens durch das Metallimplantat und somit zur Störung des Gleichgewichtes im Knochengewebe zwischen spannungsinduziertem Auf- und Abbau (Wintermantel und Ha, 1996).

Aus diesen Gründen begann Anfang der siebziger Jahre die Erforschung resorbierbarer Osteosynthesematerialien (Wintermantel und Ha, 1996). Die resorbierbaren Implantate haben im Gegensatz zu den Metallimplantaten den wesentlichen Vorteil, dass es keiner zweiten Operation zur Materialentfernung bedarf. Es gibt keine Beeinflussung der Röntgenstrahlen, keine Störung des CT oder MRT und keinen „stress-shielding“-Effekt. Außerdem ist auch die Tatsache zu

beachten, dass die resorbierbaren Implantate ein attraktives Konzept für die Patienten bilden (van der Elst et al., 2000).

Für die vorliegende Studie wurden bei 93 Patienten (107 Füßen) verschiedene Operationsverfahren zur Korrektur von Vorfußdeformitäten angewandt. Dabei sind nicht wie in der Fußchirurgie üblich Metallimplantate, sondern resorbierbare PGA/PLA-Copolymer-Implantate (LactoSorb®) eingesetzt worden. Insgesamt wurden 335 knöcherne Eingriffe durchgeführt (Tab. 1). Es wurden 427 resorbierbare Implantate eingesetzt, davon 355 resorbierbare Schrauben und 72 resorbierbare Pins.

## **4.2 Stabilität**

Es stellt sich die Frage, ob die resorbierbaren Implantate die gleichen mechanischen Eigenschaften besitzen, wie die üblichen Implantate aus Metall, und ob ihre Stabilität ausreichend ist. Es gibt in der Fachliteratur eine große Reihe von Arbeiten, die sich mit dem Vergleich von resorbierbaren Implantaten und Metallimplantaten in Bezug auf ihrer Stabilität bei der internen Fixation von Osteotomien befassen. Es wird wiederholt bestätigt, dass die resorbierbaren Implantate die gleiche Stabilität aufweisen wie die üblich verwendeten Metallimplantate (Wittenberg et al., 1991; Benz et al., 1994; Winemaker und Amendola, 1996; Rehm et al., 1997; Springer et al., 1998; Gosain et al., 1998; Wiltfang et al., 1999; Weingart et al., 1999; Leonard und Stuck, 2000; Maurer et al., 2002; Porter und Anderson, 2004).

Die Ergebnisse vorliegender Untersuchung konnten ebenfalls bestätigen, dass die Osteosynthese mit resorbierbaren Implantaten LactoSorb® eine ausreichende Stabilität bis zur Knochenheilung gewährleistet. Aus den insgesamt 355 eingesetzten LactoSorb®-Schrauben (Tab. 1) kam es zu einem Versagen der Osteosynthese in zwei Fällen (aus der Gruppe der 15 Chevron-Osteotomien am Metatarsale I). Bei der Revision dieser zwei Patientinnen stellte sich heraus, dass in diesen Fällen die LactoSorb®-Schrauben keinen Halt in der plantaren Gegenkortikalis des Metatarsalknochens hatten, sondern in der Spongiosa positioniert waren. Dies deutet darauf hin, dass die Stabilität der Osteosynthese mit resorbierbaren LactoSorb®-

Schrauben nur dann gewährleistet wird, wenn deren Gewinde sicheren Halt in der Gegenkortikalis hat.

Das gleiche lässt sich schlussfolgern, wenn man die Ergebnisse aus der Gruppe der 62 Weil-Osteotomien betrachtet (17,7% Callusbildung, 16,1% Vergrößerung der Bohrlöcher, 3,2% Lysen). Bildung von Callus, Vergrößerung der Bohrlöcher oder Lysen waren bei keiner anderen Operationstechnik der vorliegenden Studie (Tab. 1) zu beobachten. Bei der Versorgung der Weil-Osteotomien mit LactoSorb®-Schrauben sitzt die resorbierbare Schraube im spongiosen Knochen des Metatarsalköpfchens und hat so keinen Halt in der plantaren Gegenkortikalis. In diesem Fall weisen die üblichen Metallschrauben, die einen kleineren Durchmesser und einen besseren Halt im spongiosen Knochen des Metatarsalköpfchens haben, eine bessere Stabilität auf als die resorbierbaren LactoSorb®-Schrauben. Trotzdem heilten alle Weil-Osteotomien vorliegender Untersuchung gut aus, ohne dass Versagen der Osteosynthese oder Dislokation der Knochenfragmente zu beobachten wären.

Diese Beobachtungen verdeutlichen wie wichtig es ist, dass die resorbierbaren LactoSorb®-Schrauben mit deren Gewinde sicheren Halt in der Gegenkortikalis des osteotomierten Knochens haben. Wenn dies gewährleistet wird, bieten sie ausreichende Stabilität.

### **4.3 Biokompatibilität**

Neben der Stabilität der resorbierbaren LactoSorb®-Implantate war auch die Biokompatibilität ein wichtiger Parameter, welcher bei der Nachuntersuchung der 107 operierten Füße vorliegender Studie beachtet wurde. Viele klinische und experimentelle Studien beschäftigen sich mit den Gewebereaktionen auf die resorbierbaren Implantate (van der Elst et al., 2000). Verschiedene lokale Fremdkörperreaktionen auf biodegradierbare Implantate wurden beobachtet (Hoffmann et al., 1997).

In der Fachliteratur wird als mögliche Komplikation bei Implantation von resorbierbaren Materialien die so genannte „sterile Sinusformation“ beschrieben

(Spector et al., 1989; Törmälä et al., 1991; Vert et al., 1992). Als sterile Sinusformation bezeichnet man eine unspezifische, abakterielle Entzündungsreaktion, die sich durch leichte Schwellung und Flüssigkeitsansammlung im Gewebe äußert. Die Ursache für die Ansammlung von Flüssigkeit ist der hydrophile Charakter der Polyglykole. Die meisten Reaktionen dieser Art treten zwölf Wochen nach Implantation auf. Sämtliche Bakterienkulturen sind negativ. Die Sinusformationen werden durch Punktion und Drainage behandelt (van der Elst et al., 2000).

Gerbert (1992), der die Einsatzmöglichkeiten von resorbierbaren Implantaten in Austin-Osteotomien des ersten Strahles untersuchte, beschreibt eine sterile Sinusformation (4%) bei insgesamt 23 eingesetzten Polyglykol-Implantaten (Biofix®). Simon et al. (1997) sahen diese Komplikation in bis zu 16% der eingesetzten resorbierbaren Copolymer-Implantate (n=518).

In vorliegender Untersuchung war bei den insgesamt 427 eingesetzten LactoSorb®-Implantaten (Tab. 1) in keinem Fall (0,0%) eine Gewebereaktion im Sinne einer sterilen Sinusformation zu beobachten.

In einer Nachuntersuchung von 94 mit resorbierbaren Polyglycol-Implantaten versorgten Chevron-Osteotomien beobachteten Pelto-Vasenius et al. (1997) osteolytische Veränderungen an den operierten Metatarsalköpfchen in sieben Fällen (7,4%). In einem Fall (1,1%) war eine Metatarsalköpfchen-Nekrose zu beobachten. Fremdkörperreaktion trat in sechs Fällen auf (6,3%) und Wundinfektion in drei (3,2%).

In vorliegender Untersuchung waren osteolytische Veränderungen nur in der Gruppe der 62 Weil-Osteotomien radiologisch zu beobachten (16,1% Vergrößerung der Bohrlöcher, 3,2% Lysen). Wie bereits erwähnt, heilten alle Weil-Osteotomien vorliegender Studie gut aus, ohne dass Versagen der Osteosynthese oder Dislokation der Knochenfragmente zu beobachten wären. Bei den übrigen Korrekturosteotomien (Tab. 1) war in keinem Fall (0,0%) radiologisch eine osteolytische Veränderung zu beobachten. Metatarsalköpfchen-Nekrose trat ebenso in keinem Fall auf (0,0%). Von den insgesamt 107 operierten Füßen vorliegender Untersuchung entwickelte sich bei einem Fuß (0,9%) aus einer Wundheilungsstörung eine tiefe Infektion.



In einem Case Report beschrieb Pavlovich (2003) einen Fall von verspätet aufgetretenen Schmerzen am Operationsgebiet nach einer Hallux valgus Operation. Bei diesem Patienten waren resorbierbare Copolymer-Implantate nach durchgeführter Chevron-Osteotomie eingesetzt worden. Bei der Revision stellte sich heraus, dass sich ein Riesenzellen-Granulom als Fremdkörperreaktion auf das sich degradierende Copolymer gebildet hatte.

In vorliegender Untersuchung gaben zwei Patientinnen, die am ersten Strahl operiert worden waren, sechs Monate nach der Operation eine dorsale Druckempfindlichkeit am Metatarsale I an. Beide wurden revidiert. Es zeigte sich, dass die Schraubenköpfe komplett resorbiert waren und an deren Stelle fibromatöses Bindegewebe aufzufinden war. Die Bohrlöcher waren noch mit nicht aufgelöster Polylactidsäure gefüllt. Abgesehen von diesen zwei Fällen gab es bei den übrigen 91 Patienten (105 Füßen) keine Anzeichen von Fremdkörperreaktionen. Die Vergrößerung der Bohrlöcher und die aufgetretenen Lysen in der Gruppe der Weil-Osteotomien sind wahrscheinlich, wie auch die Callusbildung, mit der Instabilität der Fixation durch die im spongösen Knochen sitzende resorbierbare Schraube in Zusammenhang zu bringen und weniger mit Reaktionen auf die Implantate oder Resorptionsproblemen.

Mit Ausnahme der einen Infektion, waren bei den restlichen 92 Patienten (106 Füßen) keine Entzündungs- oder Infektionszeichen, wie Fieber, Rötung, Überwärmung oder Schwellung zu beobachten.

Es gab keine allgemeinen allergischen Reaktionen auf die insgesamt 427 resorbierbaren LactoSorb®-Implantate (Tab. 1), welche bei den verschiedenen Vorfußrekonstruktionen der vorliegenden Untersuchung eingesetzt worden sind.

#### **4.4 Operationsergebnisse**

Zur Beurteilung der erzielten postoperativen Ergebnisse wurden alle Patienten vorliegender Untersuchung klinisch und radiologisch untersucht. Zusätzlich wurde in Bezug auf die subjektive Patientenzufriedenheit ein Fragebogen verwendet.

Für die klinische Bewertung der Beschwerden wurde präoperativ, sowie 1 Jahr postoperativ der „American Orthopaedic Foot and Ankle Society“-Score (AOFAS-Score) ermittelt (Kitaoka et al., 1994).

Die durchgeführte radiologische Untersuchung (präoperativ, sowie 6 Wochen, 6 Monate und 1 Jahr postoperativ) diente zur Bestimmung folgender Parameter: 1) Intermetatarsalwinkel M I – M II, 2) Hallux-valgus-Winkel, 3) Position des tibialen Sesambeines, 4) Metatarsalindex, 5) Kongruenz bzw. Inkongruenz des ersten Metatarsophalangealgelenkes (bei Eingriffen am ersten Strahl), 6) Intermetatarsalwinkel M IV – M V (bei Eingriffen am fünften Strahl), 7) Metatarsale-Variation (bei durchgeführten Weil-Osteotomien) und 8) Fusion der Interphalangealgelenke (bei durchgeführten PIP- oder DIP-Arthrodesen).

Bei den insgesamt 93 operierten Patienten (107 Füßen) vorliegender Untersuchung verbesserte sich der AOFAS-Score statistisch signifikant von präoperativ 51 ( $\pm 14$ ) auf postoperativ 90 ( $\pm 9$ ) Punkten ( $p < 0,001$ ).

Der Intermetatarsalwinkel M I – M II gemessen mit der Methode nach Mitchel et al. (1958) war präoperativ  $11,3^\circ$  ( $\pm 2,9^\circ$ ) und 1 Jahr postoperativ  $7,6^\circ$  ( $\pm 2,9^\circ$ ). Der Hallux-valgus-Winkel gemessen mit der Methode nach Mitchel et al. (1958) war präoperativ  $25,5^\circ$  ( $\pm 7,6^\circ$ ) und 1 Jahr postoperativ  $8,3^\circ$  ( $\pm 8,0^\circ$ ). Die Position des tibialen Sesambeines nach der Einteilung von Hardy und Clapham (1951) war präoperativ  $5,5$  ( $\pm 1,4^\circ$ ) und 1 Jahr postoperativ  $2,7$  ( $\pm 1,4^\circ$ ). Der Metatarsalindex war präoperativ  $-1,3\text{mm}$  ( $\pm 3,1^\circ$ ) und 1 Jahr postoperativ  $-1,5\text{mm}$  ( $\pm 3,1^\circ$ ). Die Zahl der kongruenten ersten Metatarsophalangealgelenke stieg von präoperativ 12% auf postoperativ 64%.

Der Intermetatarsalwinkel M IV – M V gemessen mit der Methode nach Nestor et al. (1990) veränderte sich von präoperativ  $9,8^\circ$  ( $\pm 1,9^\circ$ ) auf postoperativ  $1,6^\circ$  ( $\pm 2,7^\circ$ ).

Die Metatarsale-Variation (Längendifferenz der Metatarsalia I, III, IV und V in Bezug auf das Metatarsale II) veränderte sich in der Gruppe der Weil-Osteotomien

von präoperativ M I: -2,7mm, M III: -5,6mm, M IV: -15,6mm und M V: -19,9mm auf postoperativ M I: +1,3mm, M III: -5,8mm, M IV: -13,9mm und M V: -26,7mm.

Von den insgesamt 72 durchgeführten PIP- und DIP-Arthrodesen kam es bei 44 Interphalangealgelenken der Kleinzehen zu einer Fusion (61,1%).

Von den 93 behandelten Patienten waren 85,0% mit dem Gesamtergebnis der Operation zufrieden. Dieses Ergebnis bezieht sich auf die Summe der operierten Füße. Der präoperative Ausgangsbefund war aber nicht bei allen Patienten gleich schwer. Dieser hatte seine Auswirkung sowohl auf das Operationsergebnis, als auch auf die subjektiv empfundene Patientenzufriedenheit. Bei den Füßen, an denen Korrekturosteotomien am ersten Strahl und zusätzlich eine oder mehrere Weil-Osteotomien an den Strahlen II bis V durchgeführt wurden (n=21) war die Patientenzufriedenheit 66,7%. Bei den Füßen hingegen mit weniger ausgeprägten Deformitäten, wo nur Eingriffe am ersten Strahl notwendig waren (n=47), war die subjektive Patientenzufriedenheit in Bezug auf das Gesamtergebnis der Operation mit 95,7% erheblich größer.

Von den insgesamt 93 operierten Patienten waren mit dem kosmetischen Ergebnis der Narben 94,4% zufrieden. 93,5% würden einem Verwandten oder Freund mit demselben Problem zu einer gleichen Operation raten.

Die klinischen und radiologischen Ergebnisse vorliegender Untersuchung, sowie das Ergebnis in Bezug auf die Patientenzufriedenheit sind vergleichbar mit den in der Fachliteratur publizierten Ergebnissen aus dem Bereich der Vorfußchirurgie, wo ausschließlich Metallimplantate zum Einsatz kamen.

Ähnliche Ergebnisse von Untersuchungen, die sich mit der Scarf-Osteotomie am ersten Strahl befassen, präsentierten Rippstein und Zünd (2001), Crevoisier et al. (2001), Kristen et al. (2002) und Jones et al. (2004). Gleiches gilt auch für Studien, die sich mit der Chevron-Osteotomie des ersten Strahles befassen: Wülker (1997), Trnka et al. (2000).

Untersuchungen von durchgeführten Korrekturosteotomien an den Strahlen II bis V und den Kleinzehen mit vergleichbaren Ergebnissen stammen von Kitaoka et al. (1991) bezüglich Chevron-Osteotomien am Metatarsale V, von Vandeputte et al. (2000) bezüglich Weil-Osteotomien und von Edwards und Beischer (2002) bezüglich DIP- und PIP-Arthrodesen der Kleinzehen.

#### **4.5 Schlussfolgerung**

Die Nachuntersuchung der insgesamt 93 Patienten (107 Füßen) vorliegender Untersuchung, bei denen ausschließlich resorbierbare PGA/PLA-Copolymer-Implantate (LactoSorb®) eingesetzt wurden, konnte bestätigen, dass diese Implantate für die Vorfußchirurgie geeignet sind, sowohl in Bezug auf ihre Stabilität als auch auf ihre Biokompatibilität.

Am Metatarsale I können Scarf- (Z-förmig) und modifizierte Chevron-Osteotomien (L-förmig) sicher durch zwei 2,5mm LactoSorb®-Schrauben fixiert werden. Bei den V-förmigen Chevron-Osteotomien, wenn nur eine 2,5mm LactoSorb®-Schraube zur Fixation eingesetzt wird, muss darauf geachtet werden, dass die resorbierbare Schraube mit ihrem Gewinde sicheren Halt in der Gegenkortikalis des osteotomierten Knochens hat. Die Fixation der Akin-Osteotomien und der verkürzenden Stufenosteotomien der Großzehengrundphalanx (nach Hamel) durch einer 2,5mm LactoSorb®-Schraube war in allen Fällen stabil.

Weil-Osteotomien an den Metatarsalia II bis V können durch 2,0mm LactoSorb®-Schrauben fixiert werden. Die üblich verwendeten Metallschrauben aber, die selbstschneidend sind und einen besseren Halt im spongiösen Knochen des Metatarsalköpfchens haben, bieten in diesem Fall eine bessere Stabilität.

Die 2,0mm LactoSorb®-Schrauben bieten bei der Fixation der Osteotomien des Metatarsale V eine ausreichende Stabilität und können bei diesen Patienten eingesetzt werden, die sich keine Metallimplantate wünschen.

Der Einsatz von 1,5mm LactoSorb®-Pins bei den Operationen der Kleinzehen (DIP- und PIP-Arthrodesen) macht den Gebrauch von perkutanen Kirschner-Drähten unnötig. Die Operationstechnik muss aber noch weiter entwickelt werden.

Der Einsatz von resorbierbaren LactoSorb®-Implantaten bei den verschiedenen Vorfußrekonstruktionen hat eine aufwendigere Operationstechnik und eine längere Operationszeit zufolge. Außerdem sind die resorbierbaren LactoSorb®-Schrauben und -Pins im Vergleich zu den Metallimplantaten teurer. In Hinsicht aber auf die unnötige Materialentfernung hat der Gebrauch von resorbierbaren Implantaten einen deutlich besseren Kosten-Nutzen-Effekt.

Metallentfernungen sind nicht nur kostenintensiv für das Gesundheitssystem, sondern auch belastend für die Patienten, da sie eine zusätzliche Operation bedeuten. Aus diesem Grund bieten resorbierbare Implantate ein sehr attraktives Konzept für die Patienten, die sich zunehmend dafür interessieren und von sich aus danach fragen.

Außerdem gibt es bei resorbierbaren Osteosynthesematerialien keine Beeinflussung der Röntgenstrahlen, keine Störung des CT oder MRT und keinen „stress-shielding“-Effekt, wie es bei Metallimplantaten der Fall ist.

Unter diesen Aspekten und in Betracht auf die guten ersten Ergebnisse bei der Korrektur verschiedener Vorfußdeformitäten ist es nicht unrealistisch davon auszugehen, dass sich in Zukunft die resorbierbaren Implantate auch in der Vorfußchirurgie immer mehr durchsetzen werden, wie sie es zum Beispiel im Gebiet der kraniofazialen Chirurgie bereits getan haben.

## 5. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden prospektiven Studie war es, die Einsatzmöglichkeiten von resorbierbaren PGA/PLA-Copolymer-Implantaten (LactoSorb®) bei verschiedenen Vorfußrekonstruktionen zu untersuchen. Zwischen November 2001 und Dezember 2002 wurden insgesamt 93 Patienten (107 Füße) operativ behandelt. Dabei wurden nicht wie in der Fußchirurgie üblich Metallimplantate, sondern ausschließlich resorbierbare LactoSorb®-Schrauben und LactoSorb®-Pins eingesetzt. Bei LactoSorb® handelt es sich um ein lineares amorphes Copolymer aus 82% Poly-L-Lactidsäure und 18% Polyglykolsäure. Alle Operationen wurden von demselben Operateur durchgeführt. Die Patienten wurden gleich postoperativ mobilisiert. Sie durften den operierten Fuß mit ihrem vollen Körpergewicht belasten, indem sie einen speziellen steifsohligen Schuh mit Einlegesohle der Firma Darco trugen. Folgende Osteotomien wurden durchgeführt: 1) Scarf-Osteotomie am Metatarsale I (n=84), 2) Chevron-Osteotomie am Metatarsale I (n=15), 3) Akin-Osteotomie an der Großzehengrundphalanx (n=94), 4) Scarf-Osteotomie am Metatarsale V (n=4), 5) Chevron-Osteotomie am Metatarsale V (n=4), 6) Arthrodesse des proximalen (PIP) oder distalen Interphalangealgelenkes (DIP) der Kleinzehen (n=72), 7) Weil-Osteotomie an den Metatarsalia II bis V (n=62). Alle Patienten wurden präoperativ, sowie prospektiv in fest geplanten Zeitabständen (2 Wochen, 6 Wochen, 6 Monate und 1 Jahr postoperativ) einbestellt und untersucht. Die Datenerhebung erfolgte durch klinischer und radiologischer Untersuchung, sowie anhand eines Fragebogens in Bezug auf die subjektive Patientenzufriedenheit.

Von den behandelten Patienten waren 85,0% mit dem Gesamtergebnis der Operation zufrieden. 93,5% würden einem Verwandten oder Freund mit demselben Problem zu einer gleichen Operation raten. Für die Bewertung der klinischen Untersuchung haben wir den „American Orthopaedic Foot and Ankle Society“-Score (AOFAS-Score) verwendet. Dieser verbesserte sich statistisch signifikant von präoperativ 51 auf postoperativ 90 Punkten ( $p < 0,001$ ). Die Ergebnisse der radiologischen Untersuchung waren im Durchschnitt wie folgt: Intermetatarsalwinkel M I – M II gemessen mit der Methode nach Mitchel et al. (präoperativ  $11,3^\circ$  / 1 Jahr postoperativ

7,6°), Hallux-valgus-Winkel gemessen mit der Methode nach Mitchel et al. (präoperativ 25,5° / 1 Jahr postoperativ 8,3°), Intermetatarsalwinkel M IV – M V gemessen mit der Methode nach Nestor et al. (präoperativ 9,8° / 1 Jahr postoperativ 1,6°), die Position des tibialen Sesambeines nach der Einteilung von Hardy und Clapham (präoperativ 5,5 / 1 Jahr postoperativ 2,7), der Metatarsalindex (präoperativ -1,3mm / 1 Jahr postoperativ -1,5mm). Die Veränderung dieser Parameter, mit Ausnahme des letzten, war statistisch signifikant ( $p < 0,001$ ). Von den insgesamt 72 durchgeführten PIP- und DIP-Arthrodesen kam es bei 44 Interphalangealgelenken der Kleinzehen zu einer Fusion (61,1%). Alle 62 durchgeführten Weil-Osteotomien heilten aus, 51 (82,3%) ohne und 11 (17,7%) mit Callusbildung. In dieser Gruppe waren radiologisch in 10 Fällen Vergrößerung der Bohrlöcher und in 2 Fällen Lysen zu beobachten. Zwei Patientinnen, die am ersten Strahl operiert worden sind, gaben eine dorsale Druckempfindlichkeit am Metatarsale I. Bei einer Patientin, die am fünften Strahl operiert worden ist, entwickelte sich eine tiefe Infektion. Bei zwei Patientinnen aus der Gruppe der Chevron-Osteotomien kam es zu einem Versagen der Osteosynthese in den ersten postoperativen Tagen. Diese fünf Patientinnen wurden wegen der genannten Komplikationen revidiert. Ein Patient aus der Gruppe der Scarf-Osteotomien erlitt eine proximale, diaphysäre Fraktur des dorsalen Fragmentes des Metatarsale I, ohne dass die Osteosynthese durch die resorbierbaren Schrauben versagte. Die Fraktur wurde konservativ behandelt.

Die resorbierbaren LactoSorb®-Implantate bieten bei Vorfußrekonstruktionen des ersten und fünften Strahles, sowie bei der Korrektur von Kleinzehendeformitäten, eine gute und sichere Alternative zu den allgemein verwendeten Metallimplantaten. Sie haben zusätzlich den Vorteil, dass keine zweite Operation zur Materialentfernung benötigt wird. Weil-Osteotomien können ebenfalls mit resorbierbaren LactoSorb®-Schrauben fixiert werden, diese weisen aber nicht die gleiche Stabilität auf wie die Metallschrauben, die einen kleineren Durchmesser und einen besseren Halt im spongiösen Knochen des Metatarsalköpfchens haben. Abgesehen von der einen Infektion, waren bei den restlichen 92 Patienten (106 Füßen) keine Entzündungs- oder Infektionszeichen, wie Fieber, Rötung, Überwärmung oder Schwellung zu beobachten. Es gab keine allgemeinen allergischen Reaktionen auf die resorbierbaren LactoSorb®-Implantate, welche bei den verschiedenen Vorfußrekonstruktionen der vorliegenden Untersuchung eingesetzt worden sind.

## 6. Literaturverzeichnis

- 1) *Akin, O.* (1925): The treatment of hallux valgus: a new operative treatment and its results. *Med Sentinel* 33, S. 678.
- 2) *Alvin, F.G., Garvin, K.L.* (1980): Peg and dowel fusion of the proximal interphalangeal joint. *Foot Ankle* 1, S. 90-94.
- 3) *Austin, D.W., Leventen E.O.* (1981): A new osteotomy for hallux valgus. *Clin Orthop* 157, S. 25-30.
- 4) *Barouk, L.S.* (1990): Osteotomie scarf du premier métatarsien. *Med Chirurg Pied* 10, S. 111-120.
- 5) *Barouk, L.S.* (1998): Hallux valgus: Osteotomie der proximalen Phalanx. In Wülker N., Stephens M., Cracchiolo A. III (Hrsg.): *Operationsatlas Fuß- und Sprunggelenk*. Enke, Stuttgart, S. 1.
- 6) *Barouk, L.S.* (2003): Metatarsalgia. In *Forefoot Reconstruction*. Springer-Verlag France, Paris, S.216.
- 7) *Benz, G., Kallieris, D., Seebock, T., McIntosh, A., Daum, R.* (1994): Bioresorbable pins and screws in paediatric traumatology. *Eur J Pediatr Surg*, Apr. 4(2), S. 103-107.
- 8) *Black, J.* (1984): Systemic effects of biomaterials. *Biomaterials* 5, S. 11.
- 9) *Borelli, A., Weil, L.S.* (1991): Modified scarf bunionectomy: our experience in more than 1000 cases. *J Foot Surg* 30, S. 609.
- 10) *Böstman, O., Hirvensalo, E., Vainionpää, S. et al.* (1989): Ankle fractures treated using biodegradable internal fixation. *Clin Orth Rel Res* 72-B, S. 597-600.



- 11) *Böstman, O., Mäkelä, E.A., Törmälä, P. et al.* (1989): Transphyseal fracture fixation using biodegradable pins. *J Bone Joint Surg* 71-B, S. 707-708.
- 12) *Brady, J.M., Cutright, D.E., Miller, R.A., Battistone, G.C.* (1973): Resorption rate, route of elimination and ultrastructure of the implant site of polylactic acid in the abdominal wall of the rat. *J Biomed Mat Res* 7, S. 155-166.
- 13) *Buruturan, J.M.* (1976): Hallux valgus y cortetad anatomica del primer metatarsano (correction quirurgica). In Toray G. (ed.), *Actualités de Médecine et de Chirurgie du Pied*, volume 9. Barcelona, Masson, S.261-266.
- 14) *Chawla, A.S., Chang, T.M.S.* (1985-86): *In vivo* degradation of poly-(lactic acid) of different mollecular weights. *Biomaterials, Medical Devices and Artificial Organs* 13, S. 153-162.
- 15) *Cotterill, J.M.* (1887): Condition of stiff great toe in adolescence. *Edinb Med J* 33, S. 459.
- 16) *Coughlin, M.J.* (1991): Chevron procedure. *Contemp Orthop* 223, S. 45-49.
- 17) *Cracchiolo III, A.* (1998): Hallux rigidus: Cheilektomie und gelenknahe Osteotomien. In Wülker N., Stephens M., Cracchiolo A. III (Hrsg.): *Operationsatlas Fuß- und Sprunggelenk*. Enke, Stuttgart, S. 49.
- 18) *Craigmile, D.A.* (1953): Incidence, origin and prevention of certain foot defects. *Br Med J* 2, S.749.
- 19) *Crevoisier, X., Moushine, E., Ortolano, V., Udin, B., Dutoit, M.* (2001): The scarf osteotomy for the treatment of hallux valgus deformity: a review of 84 cases. *Foot Ankle Int*, Dec. 22(12), S. 970-976.
- 20) *Debrunner, H.U.* (1986): Ätiologie und Pathogenese des Hallux valgus. In Blauth, W. (Hrsg.): *Hallux valgus*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, S. 37-44.

- 21) *Diebold, P.F.* (1998): Kleinzehenballen: Osteotomien des Metatarsale V. In Wülker N., Stephens M., Cracchiolo A. III (Hrsg.): Operationsatlas Fuß- und Sprunggelenk. Enke, Stuttgart, S. 93-94 und 98.
- 22) *Dijkema, A.R.A., Elst, M. van der, Verspui, G. et al.* (1993): Surgical treatment of fracture dislocations of the ankle joint with biodegradable implants: a prospective study. *J Trauma* 34, S. 82-85.
- 23) *Du Vries, H.L.* (1973): Surgery of the foot, 3rd edn., St Louis, Mosby, S. 236.
- 24) *Dutoit, M.* (1998): Hallux valgus: Diaphysäre Osteotomie des Metatarsale I. In Wülker N., Stephens M., Cracchiolo A. III (Hrsg.): Operationsatlas Fuß- und Sprunggelenk. Enke, Stuttgart, S. 29.
- 25) *Edwards, W.H., Beischer, A.D.* (2002): Interphalangeal joint arthrodesis of the lesser toes. *Foot Ankle Clin*, Mar. 7(1), S. 43-48.
- 26) *Elst, M. van der, Patka, P., Werken, C. van der* (2000): Resorbierbare Implantate für Frakturfixierungen. *Unfallchirurg* 103, S. 178-182.
- 27) *Eulert, J., Mau, H.* (1986): Der Hallux valgus: klinisches und röntgenologisches Bild. In Blauth, W. (Hrsg.): Hallux valgus. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, S. 45-52.
- 28) *Frazza, E.J., Schmitt, E.E.* (1971): A new absorbable suture. *J Biomed Mat Res* 1, S. 43-58.
- 29) *Fuhrmann, R.-A., Roth, A.* (1998): Kleinzehendeformitäten: Kondylenresektion an Grund- und Mittelphalanx. In Wülker N., Stephens M., Cracchiolo A. III (Hrsg.): Operationsatlas Fuß- und Sprunggelenk. Enke, Stuttgart, S. 77-90.
- 30) *Gastwirth, B.W., O'Brien, T.D., Nelson, R.M., Manger, D.C., Kindig, S.A.* (1991): An electrodynamic study of foot function in shoes of varying heel heights. *J Am Podiatr Med Assoc* 81, S. 463-472.

- 31) *Gerbert, J.* (1992): Effectiveness of absorbable fixation devices in Austin bunionectomies. *J Am Podiatr Med Assoc*, Apr. 82(4), S. 189-195.
- 32) *Gerlach, K.L.* (1993): Biomaterials and clinical applications. In Pizzoferrato A., Marchetti P.G., Ravaglioli A., Lee A.J.C. (eds.): Elsevier, Amsterdam, S. 299-304.
- 33) *Glynn, M.K., Dunlop J.B., Fitzpatrick D.* (1980): The Mitchell distal metatarsal osteotomy for hallux valgus. *J Bone Joint Surg* 62-B, S. 188-191.
- 34) *Gosain, A.K., Song, L., Corrao, M.A., Pintar, F.A.* (1998): Biomechanical evaluation of titanium, biodegradable plate and screw, and cyanoacrylate glue fixation systems in craniofacial surgery. *Plast Reconstr Surg*, Mar. 101(3), S. 582-591.
- 35) *Gould, N.* (1981): Technique tips: footings. *Foot Ankle* 2, S. 58-62.
- 36) *Hamel, J.* (2002): Verkürzende Großzehengrundphalanx-Stufenosteotomie (modifizierte Akin-Osteotomie nach Hamel), persönliche Mitteilung.
- 37) *Hardy, R.H., Clapham, J.C.R.* (1951): Observations on hallux valgus based on a controlled series. *J Bone Joint Surg* 33B, S. 376-391.
- 38) *Hattrup, S., Johnson, K.* (1985): Chevron osteotomy: analysis of factors in patients' dissatisfaction. *Foot Ankle* 5, S. 237-332.
- 39) *Hawkins, F.B., Mitchell, C.L., Hedrick, D.W.* (1945): Correction of hallux valgus by metatarsal osteotomy. *J Bone Joint Surg* 27, S. 387-394.
- 40) *Hench, L.L., Ethridge, E.C.* (1982): Biomaterials - An interfacial approach. Academic press, New York.
- 41) *Hench, L.L., Wilson, J.* (1993): An introduction to bioceramics. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.

- 42) *Hirvensalo, E.* (1989): Fracture fixation with biodegradable rods: forty-one cases of severe ankle fractures. *Acta Orthop Scan* 60, S. 601-606.
- 43) *Hirvensalo, E., Böstman, O., Partio, E.K. et al.* (1990): Absorbable polyglycolide pins in fixation of displaced fractures of the radial head. *Arch Orthop Trauma Surg* 109, S. 258-261.
- 44) *Hirvensalo, E., Böstman, O., Partio, E.K. et al.* (1993): Fracture of the humeral capitellum fixed with absorbable polyglycolide pins. *Acta Ortop Scand* 64, S. 85-86.
- 45) *Hodler, J., Zanetti, M.* (2003): Bildgebende Verfahren. In Imhoff, A.B., Zollinger-Kies, H. (Hrsg.): *Fußchirurgie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, S. 43.
- 46) *Hoffmann, R., Weiler, A., Helling, H.J. et al.* (1997): Lokale Fremdkörperreaktionen auf biodegradierbare Implantate. *Unfallchirurg* 100, S. 658-666.
- 47) *Hueter, C.* (1877): *Klinik der Gelenkrankheiten mit Einschluss der Orthopädie*. Leipzig, Verlag von FCW Vogel.
- 48) *Iordanskii, A.L., Rudakova, T.E., Zaikov, G.E.* (1994): Interaction of polymers in bioactive and corrosive media. VSP BV, Utrecht, The Netherlands.
- 49) *Jäger M., Wirth, C.J.* (1992): *Praxis der Orthopädie*. Thieme Verlag Stuttgart.
- 50) *Johnson, K., Cofield, R., Morrey, B.* (1979): Chevron osteotomy for hallux valgus. *Clin Orthop* 142, S. 44-47.
- 51) *Johnson, K.A.* (1989): Problems of the lesser toes. In *Surgery of the Foot and Ankle*. New York, Raven Press, S. 101-150.
- 52) *Jones, S., Al Hussainy, H.A., Ali, F., Betts, R.P., Flowers, M.J.* (2004): Scarf osteotomy for hallux valgus: a prospective clinical and pedobarographic study, *J Bone Joint Surg (Br)*, Aug. 86-B(6), S. 830-836.

- 53) *Karasick, D., Wapner, K.L.* (1990): Hallux valgus deformity: preoperative radiologic assesment. *Am J Rad*, 155, S. 119-123.
- 54) *Kenley, R.A., Lee, M.O., Mahoney, T.R., Sanders, L.M.* (1987): Poly(lactide-co-glycolide) decomposition kinetics *in vivo* and *in vitro*. *Macromolecules* 20, S. 2398-2403.
- 55) *Kitaoka, H.B., Alexander, I.J., Adelaar, R.S. et al.* (1994): Clinical rating systems for the ankle, hindfoot, midfoot, hallux and lesser toes. *Foot Ankle Int* 15, S. 349-353.
- 56) *Kitaoka, H.B., Holiday, A.D. Jr., Campbell, D.C. 2nd* (1991): Distal chevron metatarsal osteotomy for bunionette. *Foot Ankle*, Oct. 12(2), S. 80-85.
- 57) *Kitaoka, H.B., Holiday, A.D. Jr., Campbell, D.C. 2nd* (1989): Surgical treatment of the symptomatic bunionette. American Orthopaedic Foot and Ankle Society, 19th annual meeting, Las Vegas, Feb 12.
- 58) *Kristen, K.H., Berger, C., Stelzig, S., Thalhammer, E., Posch, M., Engel, A.* (2002): The scarf osteotomy for the correction of hallux valgus deformities. *Foot Ankle Int*, Mar. 23(3), S. 221-229.
- 59) *Kuwada, G.T.* (1992): Surgery of the lesser digits. In Butterworth, R., Dockery, G.L. (eds.): *A colour Atlas and Text of Forefoot Surgery*. London, Wolfe, S.137-158.
- 60) *Lajtai, G., Humer, K., Aitzetmüller, G. et al.* (1999): Ergebnisse nach Rekonstruktion vorderer Kreuzbandrupturen. *Unfallchirurg* 102, S. 35-52.
- 61) *Leonard, M., Stuck, R.* (2000): A comparison of Synthes 2.0 mm stainless steel screws and Lactosorb 2.0 mm absorbable screws for the fixation of distal fifth metatarsal osteotomies. *Loyola University Chicago, Orthopaedic Journal*, volume IX, S. 129-130.

- 62) *Maclennan, R.* (1966): Prevalence of hallux valgus in a neolithic New Guinea population. *Lancet* 1, S. 1398.
- 63) *Mäkelä, E.A., Böstman, O., Kekomäki, M. et al.* (1990): Biodegradable fixation of distal humeral physeal fractures. *Clin Orth Rel Res* 283, S. 237-243.
- 64) *Mann, R.A.* (1998): Hallux valgus: Distaler Weichteileingriff und Basisosteotomie des Metatarsale I. In Wülker N., Stephens M., Cracchiolo A. III (Hrsg.): *Operationsatlas Fuß- und Sprunggelenk*. Enke, Stuttgart, S. 19.
- 65) *Mann, R.A., Coughlin, M.J.* (1986): *Surgery of the foot and ankle*. 6th edition, volume 1, Mosby-Year Book, Inc., St. Louis, S.181, 183, 192, 341-441.
- 66) *Maurer, P., Holweg, S., Knoll, W.D., Schubert, J.* (2002): Study by finite element method of the mechanical stress of selected biodegradable osteosynthesis screws in sagittal ramus osteotomy. *Br J Oral Maxillofac Surg*, Feb. 40(1), S. 76-83.
- 67) *McGlamry, E.D.* (1992): Lesser ray deformities. In McGlamry, E.D., Banks, A.S., Downey, M.S. (eds.): *Comprehensive textbook of foot surgery*. 2nd edition, volume 1, Baltimore, Williams & Wilkins, S. 321-378.
- 68) *Meyer, H.R.* (2003): Deformitäten der kleineren Zehen. In Imhoff, A.B., Zollinger-Kies, H. (Hrsg.): *Fußchirurgie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, S. 111-120.
- 69) *Meyer, M.* (1926): Eine neue Modifikation der Hallux valgus - Operation. *Zbl Chir* 53, S. 3265-3268.
- 70) *Miller, J.W.* (1974): Distal first metatarsal displacement osteotomy: its place in the schema of bunion surgery. *J Bone Joint Surg (Am)* 56, S. 923-931.
- 71) *Miller, R.A., Brady, J.M., Cutright, D.E.* (1977): Degradation rates of oral resorbable implants (polylactates and polyglyconates): Rate modification with changes in PLA/PGA copolymer ratios. *J Biomed Mat Res* 11, S. 711-719.

- 72) *Mitchell, C.L.O., Flemming, J.L., Allen, R., Glenney, C., Sanford, G.A.* (1958): Osteotomy-bunionectomy for hallux valgus. *J Bone Joint Surg (Am)* 40-A, S. 41-60.
- 73) *Nestor, B.J., Kitaoka, H.B., Ilstrup, D.M., Berquist, T.H., Bergmann, A.D.* (1990): Radiologic anatomy of painful bunions. *Foot Ankle* 11, S. 6-11.
- 74) *Nicoladoni, C.* (1881): Über Zehenkontrakturen. *Wien, Klein Wochenschr* 51, S. 1418-1419.
- 75) *Nilsson, H.* (1930): Hallux rigidus and its treatment. *Acta Orthop Scand* 1, S. 295-302.
- 76) *Niskanen, R.O., Lethimäki, M.Y., Hamalainen, M.M.J. et al.* (1993): Arthrodesis of the first metatarsophalangeal joint in rheumatoid arthritis. *Acta Orthop Scand* 64, S. 100-102.
- 77) *Partio, E.K., Böstman, O., Hirvensalo, E. et al.* (1992): Self-reinforced absorbable screws in the fixation of displaced ankle fractures: a prospective clinical study of 152 patients. *J Orth Trauma* 6, S. 209-215.
- 78) *Partio, E.K., Hirvensalo, E., Böstman, O. et al.* (1992): Talocrural arthrodesis with absorbable screws. *Acta Orthop Scand* 63, S. 170-172.
- 79) *Partio, E.K., Merikanto, J., Heikilä, J.T. et al.* (1992): Totally absorbable screws in fixation of subtalar extra articular arthrodesis in children with spastic neuromuscular diseases. *J Pediatr Orth* 12, S. 646-665.
- 80) *Partio, E.K., Tuompo, P., Hirvensalo, E., Böstman, O., Rokkanen, P.* (1997): Totally absorbable fixation in the treatment of fractures of the distal femoral epiphyses: a prospective clinical study. *Arch Orthop Trauma Surg* 116, S. 213-216.
- 81) *Pavlovich, R. Jr., Caminear, D.* (2003): Granuloma formation after chevron osteotomy fixation with absorbable copolymer pin: a case report. *Foot Ankle, Jul. - Aug.* 42(4), S. 226-229.

- 82) *Pelto-Vasenius, K., Hirvensalo, E., Vasenius, J., Rokkanen, P.* (1997): Osteolytic changes after polyglycolide pin fixation in chevron osteotomy. *Foot Ankle Int*, Jan. 18(1), S. 21-25.
- 83) *Porter, M.D., Anderson, M.G.* (2004): Results of bioabsorbable fixation of metatarsal osteotomies. *Am J Orthop*, Dec. 33(12), S. 609-611.
- 84) *Prevel, C.D., Eppley, B.L., Ge, J., Winkler, M., Katona, T.* (1996): A comparative biomechanical analysis of resorbable rigid fixation versus titanium rigid fixation of metacarpal fractures. *Annals Plastic Surg* 37, S. 377-385.
- 85) *Rehm, K.E., Helling, H.J., Gatzka, C.* (1997): New developments in the application of resorbable implants. *Orthopäde*, Mai 26(5), S. 489-497.
- 86) *Richardson, E.G.* (1987): The foot in adolescents and adults. In Crenshaw, A.H. (ed.): *Campbell's operative orthopaedics*. 7th edition, St. Louis, Mosby-Year Book, S. 2729-2755.
- 87) *Ripstein, P., Zünd, T.* (2001): The scarf osteotomy for the correction of hallux valgus. 2001, *Operative Orthopädie und Traumatologie*, volume 13(2), S. 10.
- 88) *Rokkanen, P., Böstman, O., Vainionpää, S. et al.* (1985): Biodegradable implants in fracture fixation: early results of treatment of fractures of the ankle. *Lancet* 1, S. 1422-1424.
- 89) *Samolja, B.G.* (1994): Normal Anatomy of the forefoot. In Hetherington, V.J.: *Hallux valgus and forefoot surgery*. Churchill Livingstone, Melbourne, S. 7 - 38.
- 90) *Scheck, M.* (1977): Etiology of acquired hammer toe deformity. *Clin Orthop* 123, S. 63-69.
- 91) *Schenk, R.K.* (1986): Bone response to grafts and implants. In Lin, O.C.C. und Chao, E.Y.S., (eds.): *Perspectives on biomaterials*. Materials science monographs 33, Elsevier, Taipei, Taiwan, S. 121-136.



- 92) *Schneider, W., Knahr, K.* (1998): Metatarsophalangeal and intermetatarsal angle: different values and interpretation of postoperative results dependent on the technique of measurement. *Foot Ankle Int* 19, S. 532-536.
- 93) *Schreiber, A., Zollinger, H., Naghachan, F.* (1976): Die Hallux valgus - Operation nach Brandes. *Orthop Praxis* 12, S. 369-371.
- 94) *Shrine, I.B.* (1965): Incidence of hallux valgus in a partially shoe-wearing community. *Br Med J* 1, S. 1648.
- 95) *Sim-Fook, L., Hodgson, A.R.* (1958): A comparison of foot forms among the non-shoe and shoe-wearing chinese population. *J Bone Joint Surg* 40-A, S. 1058-1062.
- 96) *Simon, J.A., Ricci, J.L., Di Cesari, P.E.* (1997): Bioresorbable fracture fixation in orthopaedics: a comprehensive review. *Am J Orth* 11, S. 754-762.
- 97) *Spector, M., Cease, C., Tong-Li, X.* (1989): The local tissue response to biomaterials. *Crit Rev Biocomp* 5, S. 269-295.
- 98) *Springer, M.A, Binsbergen, E.A. van, Patka, P., Bakker, F.C., Haarman, H.J.* (1998): Resorbable rods and screws for fixation of ankle fractures: a randomized clinical prospective study. *Unfallchirurg, Mai* 101(5), S. 377-381.
- 99) *Suganuma, J., Alexander, H.* (1993): Biological response of intramedullary bone to poly-L-lactic acid. *J Appl Biomat* 4, S. 13-27.
- 100) *Taylor, R.G.* (1951): The treatment of claw toes by multiple transfers of flexor into extensor tendons. *J Bone Joint Surg* 33-B, S. 539-542.
- 101) *Thompson, G.H.* (1977): Bunions and deformities of the toes in children and adolescents. *J Bone Joint Surg* 77-A, S. 1924-1936.

- 102) *Törmälä, P., Vasenius, J., Vainionspää, S. et al.* (1991): Ultra-high-strength absorbable self reinforced polyglycolide (SR-PGA) composite rods for internal fixation of bone fractures: *in vitro* and *in vivo* study. *J Biomed Mater Res* 25, S. 1-22.
- 103) *Trnka, H.-J., Zembsch, A., Easley, M.E., Salzer, M., Ritschl, P., Myerson, M.S.* (2000): The chevron osteotomy for correction of hallux valgus: comparison of findings after two and five years of follow-up. *J Bone Joint Surg*, Oct. vol. 82-A(10), S. 1373-1378.
- 104) *Tuompo, P., Partio, E.K., Jukkala-Partio, K. et al.* (1999): Comparison of polylactide screws and expansion bolt in bioabsorbable fixation with patellar tendon bone graft for anterior cruciate ligament rupture of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 7, S. 296-302.
- 105) *Vandeputte, G., Dereymaeker, G., Steenwerckx, A., Peeraer, L.* (2000): The Weil osteotomy of the lesser metatarsals: a clinical and pedobarographic follow-up study. *Foot Ankle Int*, May 21(5), S. 370-374.
- 106) *Venning, P., Hardy, R.H.* (1951): Sources of error in the production and measurement of standard radiographs of the foot. *Br J Radiol* 24, S. 18-26.
- 107) *Vert, M., Li, S.M., Spenlehauer, G., Guerin, P.* (1992): Bioresorbability and biocompatibility of aliphatic polyesters. *Materials in medicine. J Mat Science* 3, S. 432-446.
- 108) *Vihtonen, K., Päätiälä, H., Rokkanen, P. et al.* (1990): Preliminary results of reinsertion of ruptured ulnar collateral ligament of the first metacarpophalangeal joint with totally biodegradable polylactide (PLA) pin. *Acta Ortop Scand* 237 (Suppl.), S. 44.
- 109) *Vihtonen, K., Juutilainen, T., Päätiälä, H. et al.* (1993): Reinsertion of the ruptured ulnar collateral ligament of the metacarpophalangeal joint with an absorbable self-reinforced polylactide tack. *J Hand Surg* 18-B, S. 200-203.
- 110) *Viladot, A.* (1993): Metatarsalgia due to biomechanical alterations of the forefoot. *Orthop Clin North Am* 4, S. 165-178.

- 111) *Vissher, G.E., Robinson, R.L., Maulding, H.V., Fong, J.W., Parsin, J.E., Argentieri, G.J.* (1985): Biodegradation of and tissue reaction to 50:50 poly(DL-lactide-co-glycolide) microcapsules. *J Biomed Mat Res* 19, S. 349-365.
- 112) *Wanivenhaus, A.* (1989): Zur Ätiologie und Therapie des Hallux valgus mit Metatarsus primus varus. Wien, Maudrich.
- 113) *Weingart, D., Bublitz, R., Michilli, R., Class, D.* (1999): Preliminary results of the use of resorbable plates and screws in craniofacial surgery. *Mund Kiefer Gesichtschir, Mai* 3(3), S. 165-167.
- 114) *Williams, D.F.* (1988): Consensus and definitions in biomaterials. In de Putter, C., de Lange, K., de Groot K. und Lee, A.J.C. (eds.): *Advances in biomaterials.* Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam 8, S. 11-16.
- 115) *Wiltfang, J., Merten, H.A., Becker, H.J., Luhr, H.G.* (1999): The resorbable miniplate system Lactosorb in a growing cranio-osteoplasty animal model. *J Craniomaxillofac Surg, Aug.* 27(4), S. 207-210.
- 116) *Winemaker, M.J., Amendola, A.* (1996): Comparison of bioabsorbable pins and Kirschner wires in the fixation of chevron osteotomies for hallux valgus. *Foot Ankle Int., Oct.* 17(10), S. 623-628.
- 117) *Wintermantel, E., Ha, S.-W.* (1998): *Biokompatible Werkstoffe und Bauweisen. Implantate für Medizin und Umwelt.* 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 7, 8, 171, 242 und 363.
- 118) *Wintermantel, E.* (1993): Inauguration lecture, ETH Zürich.
- 119) *Wittenberg, J.M., Wittenberg, R.H., Hipp, J.A.* (1991): Biomechanical properties of resorbable poly-L-lactide plates and screws: a comparison with traditional systems. *J Oral Maxillofac Surg, May* 49(5), S. 512-516; discussion S. 517-518.

- 120) *Wülker, N.* (1997): Hallux valgus. Orthopäde 26, S. 654-664.
- 121) *Zollinger, H.* (1991): Der Hallux rigidus und seine Behandlung. Ther Umsch 48, S. 832-835.

## **Danksagung**

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. Sigurd Keßler und Herrn Dr. Christian Kinast für die Überlassung des Themas und die sehr gute Betreuung.

Besonders möchte ich Herrn Dr. Christian Kinast danken für die wertvollen Ratschläge und die fortwährende Motivation und Unterstützung.

Herzlichen Dank an die Praxisbelegschaft der orthopädischen Gemeinschaftspraxis Dr. Christian Kinast / Prof. Dr. Johannes Hamel, die mir immer hilfsbereit zur Seite stand und ganz besonders Fr. Iris Wolf.

Ich danke den Patienten dieser Studie, die sich bereitwillig den Nachuntersuchungen unterzogen.

Ein großes Dankeschön an meine Ehefrau Carolin für ihre liebevolle Unterstützung, ihre Geduld und ihr Verständnis.

Außerdem danke ich meinen Eltern, die mir das Studium der Humanmedizin ermöglichten und mir immer mit Rat und Tat zur Seite stehen.

Zuletzt möchte ich mich herzlich an Herrn Dr. Christian Kinast und Herrn Prof. Dr. Johannes Hamel bedanken, die mir die faszinierende Welt der Fußchirurgie offenbarten und mir während meiner Weiterbildung zum Orthopäden gute Lehrer und Vorbilder sind.

# Lebenslauf

## Persönliche Daten

Name : **Bouliopoulos**  
Vorname : Panagiotis  
Geburtsdatum : 25. März 1975  
Geburtsort : München  
Nationalität : griechisch  
Familienstand : verheiratet ( *Ehefrau: Carolin Bouliopoulos, geb. Schmidt, Kinderkrankenschwester* )  
2 Kinder ( *Melina Alexandra und Konstantinos* )  
Eltern : Konstantinos Bouliopoulos ( *Elektroschweißer* )  
Alexandra Bouliopoulou, geb. Kolofotia ( *Friseurin* )

## Schulbildung

1981 – 1985 : private griechische Volksschule in München  
1985 – 1987 : griechische Volksschule in Platanos Imathias (GR)  
1987 – 1990 : erstes privates griechisches Gymnasium in München  
1990 – 1993 : erstes privates griechisches Lyzeum in München  
1993 : Abitur ( Note 1,0 )  
09/93 : Panhellenische Aufnahmeprüfung für medizinische und biologische Studiengänge  
10/93 : Zulassung zum humanmedizinischem Studium

## Hochschulbildung

1993 – 1999 : Medizinstudium an der Aristoteles Universität von Thessaloniki (GR)

## **Praktisches Jahr**

- 08/98 – 11/98 : *Chirurgie*, Uni-Klinik Hippokrateion in Thessaloniki (GR)
- 11/98 – 02/99 : *Innere Medizin*, Uni-Klinik Hippokrateion in Thessaloniki (GR)
- 02/99 – 03/99 : *Neurologie*, Uni-Klinik AHEPA in Thessaloniki (GR)
- 03/99 – 04/99 : *Gynäkologie und Geburtshilfe*, Uni-Klinik Hippokrateion in Thessaloniki (GR)
- 04/99 – 05/99 : *Pädiatrie*, Uni-Klinik Hippokrateion in Thessaloniki (GR)

## **Diplomarbeiten**

- Chirurgie : „Verkehrsunfälle und abdominale Notfalleingriffe“
- Innere Medizin : „Nierentransplantation“
- Gynäkologie und Geburtshilfe : „Habituelle Abortion“

## **Ärztliche Tätigkeit**

- 11/99 – 05/00 : Militärdienst in Griechenland als Arzt
- 07/00 – 10/00 : 3-monatige obligatorische Ausbildung in der Notfallambulanz der inneren, der chirurgischen und der kardiologischen Abteilung des Präfekturkrankenhauses Kilkis (GR)
- 10/00 – 10/01 : Landarzt für die Gemeinden Nea Santa, Mandres und Agios Panteleimon der Präfektur Kilkis (GR)
- 01/02 – 12/02 : Assistenzarzt in der chirurgischen Abteilung der Privatklinik „Dr. Riefler“ in München
- 01/03 – 09/04 : Assistenzarzt in der orthopädischen Abteilung der Privatklinik „Dr. Riefler“ in München
- 10/04 – 01/05 : Assistenzarzt in der orthopädischen Abteilung der Privatklinik Josephinum in München
- Seit 02/05 : Assistenzarzt in der orthopädischen Klinik München-Harlaching ( *Orthozentrum München* )