

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Klinik und Poliklinik für
Orthopädie und Sportorthopädie am Klinikum rechts der Isar

Die closed wedge Basisosteotomie des ersten Metatarsale mit Anwendung
einer mini L-Platte: Eine Analyse von 86 Füßen

Alexander Nedopil

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen
Grades eines

Doktors der Medizin

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:

Univ.-Prof. Dr. D. Neumeier

Prüfer der Dissertation:

1. apl. Prof. Dr. M. Rudert

2. Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle

Die Dissertation wurde am 22.12.2008 bei der Technischen Universität
München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 18.03.2009
angenommen.

1	Einleitung	8
1.1	Definition des Hallux valgus	8
1.2	Anatomie des MTP-Gelenkes	9
1.2.1	Das Metatarsale I und Phalanx proximale	9
1.2.2	Die Sesambeine	10
1.2.3	Muskeln	11
1.3	Ätiologie des Hallux valgus	11
1.3.1	Extrinsische Faktoren	12
1.3.2	Intrinsische Faktoren	12
1.3.2.1	Fußform.....	13
1.3.2.2	Spreizfuß.....	13
1.3.2.3	Pes planus	13
1.3.2.4	Metatarsus primus varus	14
1.3.2.5	Distaler Metatarsale-Gelenkflächen-Winkel (DMAA).....	15
1.3.2.6	Hypermobilität des Tarso-Metatarsal-gelenkes.....	15
1.3.2.7	Vererbung	15
1.3.2.8	Weitere unspezifische Risikofaktoren	16
1.4	Pathogenese.....	16
1.5	Therapie	18
1.5.1	Therapiegrundsätze	18
1.5.2	Geschichte der Hallux valgus Therapie.....	19
1.5.3	Die Basisosteotomie des Metatarsale I	20
2	Aufgabenstellung	21
3	Patienten und Methode	21
3.1	Patientenkollektiv	21
3.1.1	Einschlusskriterien.....	21

3.1.2	Ausschlusskriterien	22
3.2	Methode.....	22
3.2.1	Operationstechnik.....	22
3.2.2	Nachbehandlung.....	28
3.3	Nachuntersuchung.....	28
3.3.1	Klinische Untersuchung	28
3.3.2	Radiologische Untersuchung	30
3.3.2.1	Hallux-valgus-Winkel und Intermetatarsal-I/II-Winkel.....	31
3.3.2.2	Distaler-Metatarsale-Gelenkflächen-Winkel (DMAA)	32
3.3.2.3	Sesambeinposition nach Appel	33
3.3.2.4	Kongruenz bzw. Inkongruenz des Metatarsophalangeal-Gelenkes.....	34
3.3.2.5	Laterale und mediale Subluxation des Metatarsophalangeal-Gelenkes	35
3.3.2.6	Metatarsalprotrusion.....	36
3.3.2.7	Distanz zwischen Metatarsale I und Metatarsale II	37
3.3.2.8	Medialer Längsgewölbe-Winkel.....	37
3.3.2.9	Hallux-valgus-interphalangeus-Winkel (HVI-Winkel).....	38
3.3.2.10	Messung der Vorfußbreite	39
3.3.2.11	Degenerative Veränderungen des Metatarsophalangeal-Gelenk.....	39
3.4	Statistische Auswertung.....	40
4	Ergebnisse	42
4.1	Klinische Analyse.....	42
4.1.1	Erkrankungsbeginn.....	42
4.1.2	Schmerzen	42
4.1.3	Aktivitätsbeeinträchtigung	45
4.1.4	Schuhwerk.....	46
4.1.5	Beweglichkeit.....	46
4.1.6	Ausrichtung der Großzehe und Kosmetik des Fußes.....	47
4.1.7	Ergebnis im A.O.F.A.S Score.....	49

4.1.8	Ergebnis im Mayo-Clinic-Forefoot-Score.....	49
4.1.9	Zufriedenheit.....	51
4.2	Radiologische Befunde	53
4.2.1	Hallux valgus-Winkel	53
4.2.2	Intermetatarsal-I/II-Winkel.....	54
4.2.3	Distaler-Metatarsale-Gelenkflächen-Winkel	56
4.2.4	Lage der Sesambeine.....	57
4.2.5	Kongruenz des Metatarsophalangeal-Gelenkes.....	59
4.2.6	Subluxation im ersten Metatarsophalangeal-Gelenk	60
4.2.7	Metatarsalprotrusion	60
4.2.8	Distanz zwischen Metatarsale I und Metatarsale II	61
4.2.9	Medialer Längsgewölbe-Winkel	61
4.2.10	Hallux-valgus-interphalangeus-Winkel	62
4.2.11	Vorfußbreite.....	62
4.2.12	Degenerative Veränderungen des Metatarsophalangeal-Gelenkes	64
5	Komplikationen.....	67
6	Diskussion.....	70
7	Zusammenfassung.....	94

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3-1	24
Abb. 3-2	24
Abb. 3-3	24
Abb. 3-4	25
Abb. 3-5	27
Abb. 3-6	27
Abb. 3-7	27
Abb. 3-8	27
Abb. 3-9	31
Abb. 3-10.....	31
Abb. 3-11.....	32
Abb. 3-12.....	33
Abb. 3-13.....	34
Abb. 3-14.....	34
Abb. 3-15.....	34
Abb. 3-16.....	35
Abb. 3-17.....	36
Abb. 3-18.....	37
Abb. 3-19.....	38
Abb. 3-20.....	38
Abb. 3-21.....	39
Abb. 3-22.....	40
Abb. 3-23.....	40
Abb. 3-24.....	40
Abb. 3-25.....	40
Abb. 5-1	68
Abb. 5-2	68
Abb. 5-3	69
Abb. 5-4	69

Tabellenverzeichnis:

Tab. 4-1.....	43
Tab. 4-2.....	44
Tab. 4-3.....	51
Tab. 4-4.....	53
Tab. 4-5.....	55
Tab. 4-6.....	57
Tab. 4-7.....	60
Tab. 4-8.....	62
Tab. 4-9.....	63
Tab. 4-10.....	64
Tab. 4-11.....	65
Tab. 6-1.....	71
Tab. 6-2.....	76
Tab. 6-3.....	84
Tab. 6-4.....	85
Tab. 6-5.....	92

Graphikverzeichnis:

Graphik 4-1	43
Graphik 4-2	44
Graphik 4-3	45
Graphik 4-4	46
Graphik 4-5	48
Graphik 4-6	49
Graphik 4-7	50
Graphik 4-8	51
Graphik 4-9	52
Graphik 4-10	54
Graphik 4-11	55
Graphik 4-12	58
Graphik 4-13	59
Graphik 4-14	64
Graphik 4-15	65

Abkürzungen:

DMAA

max.

MTP

IP

TMT

HVI

HWW

IMW

SD

Distaler-Metatarsale-Gelenkflächen-Winkel

maximal

Metatarso-Phalangeal

Interphalangeal

Tarso-Metatarsal

Hallux-valgus-interphalangeus

Hallux valgus Winkel

Intermetatarsal-I/II-Winkel

Standardabweichung

1 Einleitung

Es wird geschätzt, dass 90% aller Fußprobleme im Vorfuß lokalisiert sind und dass die am stärksten beeinträchtigenden Erkrankungen dieser Region das Metatarsophalangeal-Gelenk (MTP-Gelenk) betreffen. Der Hallux abducto valgus ist die häufigste Deformität des Vorfußes [23].

Beim Hallux valgus handelt es sich um eine Lateralabweichung der Großzehe in Relation zum Os metatarsale I. 1856 beschrieb Volkmann [80] die pathologische Anatomie der „so genannten Exostose der großen Zehe“ und 1871 führte Carl Hueter erstmals den Begriff „Hallux valgus“ als Bezeichnung dieser Deformität ein.

1.1 Definition des Hallux valgus

Bezüglich der Definition gibt es unterschiedliche Ansichten. Mann und Coughlin [49] definierten 1981 den Hallux valgus als statische Subluxation des ersten MTP-Gelenkes mit lateraler Abweichung der großen Zehe und einer medialen Abweichung des ersten Metatarsale. In schweren Fällen, so ergänzen sie, ist er vergesellschaftet mit einer Rotation und Pronation der großen Zehe. 1981 war die Subluxation des MTP-Gelenkes der erste Aspekt in der Definition des Hallux valgus. 1996 definiert Coughlin [14] den Hallux valgus ohne Subluxation und beschreibt somit die Existenz eines kongruenten Hallux valgus. Er fügt jedoch hinzu, dass die Deformität für gewöhnlich durch eine Subluxation charakterisiert ist. Das Wissen über die Existenz eines kongruenten Hallux valgus, bei dem die Gelenkflächen des MTP-Gelenkes parallel zueinander stehen [58], ist ein wichtiger Erkenntnisgewinn, sowohl für die Erklärung der Pathogenese als auch für die Planung der Therapie. Der kongruente Hallux valgus ist stabiler und neigt nicht so stark zur Progression wie ein inkongruenter Hallux valgus. Bei der operativen Therapie des kongruenten Hallux valgus ist zu beachten, dass die meisten Operationstechniken dazu tendieren, die bereits schon nach lateral geneigte distale Gelenkfläche des ersten Mittelfußknochens weiter nach lateral zu neigen. Dies kann postoperativ zu einer inkongruenten Gelenkflächenstellung führen, die wie oben erwähnt eine geringere Stabilität aufweist.

Die Beschreibung eines radiologisch bestimmten Grenzwinkels zwischen der Grundphalanx und dem Metatarsale I, dem so genannten Hallux-valgus-Winkel, ist eine andere Möglichkeit der Definition. Pisani [60] sieht den Bereich des Physiologischen unterhalb eines Winkel von 5-10°. Wülker [83] definierte 1997 einen Winkel von über 20° als pathologisch schloß sich

aber 2005 [82] der Meinung von Piggott [58] an, der die Übergänge fließend und abhängig von den subjektiven Beschwerden sieht.

Die Kenntnis der genauen anatomischen Verhältnisse im Bereich des ersten Mittelfußknochens und der Großzehe ist notwendige Voraussetzung für das Verstehen der biomechanischen und biodynamischen Vorgänge, die zur Ausbildung eines Hallux valgus führen. Therapeutische Ansätze wiederum können – vor allem wenn sie sich auf eine chirurgische Intervention beziehen – nur dann erfolgreich sein, wenn ihnen ein detailliertes Wissen über die Pathogenese und die wirksamen Pathomechanismen zugrunde liegt.

In dem Kapitel 1.2 werden daher die Anatomie des ersten MTP-Gelenkes und dessen Gelenkflächenvariationen sowie anschließend die Ätiologie und die Pathogenese des Hallux valgus beschrieben, wie sie in der aktuellen Literatur dargestellt werden.

1.2 Anatomie des MTP-Gelenkes

1.2.1 Das Metatarsale I und Phalanx proximale

Der erste Mittelfußknochen bildet den medialen Rand des Fußes; er besitzt normalerweise vier Gelenkflächen: Distal artikuliert er mit der proximalen Phalanx und proximal mit dem medialen Os cuneiforme. Plantar befinden sich zwei Sesambeine. Gelegentlich besteht auch eine gelenkige Verbindung zwischen dem ersten und zweiten Mittelfußknochen. Die Gelenkfläche zum medialen Os cuneiforme ist meist nierenförmig und falls das erste mit dem zweiten Mittelfußknochen gelenkig verbunden ist, befindet sich auf der lateralen Seite des ersten Mittelfußknochen eine ovale Gelenkfläche [67].

An der Basis des ersten Mittelfußknochens setzen zwei Muskeln an. Auf der medialen Seite, etwas plantar gelegen, ist der Ansatz des M. tibiales anterior und auf der gegenüberliegenden Seite, das heißt am Übergang von der plantaren zur medialen Seite, befindet sich die Tuberositas ossis metatarsi I für den Ansatz der langen Peroneussehne. Die distale Gelenkfläche ist trapezförmig und konvex geformt. Sie ist größer als die Gelenkflächen der übrigen Mittelfußköpfchen. Auf der Vorderseite des Gelenkknorpels entspringt ein parallel zum Schaft des Os metatarsale verlaufender, wallartiger, abgerundeter Knochenvorsprung, der nach plantar zieht. In der englischsprachigen Literatur wird er als „metatarsal ridge“ [24] oder „intersesamoidal ridge“ [65, 84] bezeichnet. Auf dorsoplantaren Röntgenaufnahmen ist zu erkennen, dass sich dieser Knochenvorsprung lateral der Mittellinie zwischen medialem und lateralem Kortex befindet. Er trennt die Grübchen, die von den plantaren Kondylen des Os metatarsale gebildet werden und mit hyalinem Knorpel

ausgekleidet sind. Sie dienen den Sesambeinen als Gleitlager und bilden mit diesen das von Rosenbaum [65] als „first metatarso-sesamoid joint“ bezeichnete Gelenk. Normalerweise ist die Grube der medialen Kondyle größer als die der lateralen Kondyle. Yoshoka et al. [84] betrachtet das Köpfchen des ersten Mittelfußknochens als eine Gelenkfläche aufgeteilt in drei Areale: Die Gruben für die Sesambeine sowie im dorsalen Bereich des Köpfchens die Gelenkfläche für den proximalen Phalanx, welches mit seiner konkaven Gelenkfläche die Pfanne des Gelenkes bildet. Die distale Gelenkfläche der Großzehengrundphalanx ist walzenförmig.

1.2.2 Die Sesambeine

Sesambeine sind bindegewebliche, knorpelige oder knöcherne Strukturen, die nahezu immer innerhalb einer Sehne liegen. Obwohl ihre Funktion noch nicht vollständig geklärt ist, wird vermutet, dass sie 1) den Zug einer Sehne verändern, 2) die Reibung an der Gelenkfläche verringern und 3) den Druck innerhalb einer Sehne verkleinern und somit eine bessere Blutversorgung ermöglichen [53].

Am Fuß existieren regulär nur zwei Sesambeine: das mediale (tibiale) Sesambein und das laterale (fibuläre) Sesambein. In dorso-plantarer Ansicht erscheinen sie oval mit einem Längendurchmesser von ca. 10mm und einer Breite von ca. 8,5mm wobei das mediale Sesambein etwas größer ist als das laterale [84]. Von der Seite gesehen haben sie eine konvexe plantare und eine konkave dorsale Oberfläche, welche mit den Gelenkflächen der beiden Grübchen korrespondiert. Sie liegen innerhalb der Sehnen des M. flexor hallucis brevis [49, 70] proximal des MTP-Gelenkes. Eine gelenkige Verbindung besteht nur zum Köpfchen des ersten Mittelfußknochens, wo das mediale Sesambein weiter distal mit dem Metatarsale-I-Köpfchen artikuliert als das laterale Sesambein [18].

Die beiden Sesambeine sind eingebunden in eine Vielzahl von Bändern. Das plantare metatarsophalangeale Band, welches proximal am Köpfchen des ersten Mittelfußknochens entspringt und distal an der Basis des proximalen Phalanx ansetzt, lässt sich aufteilen in ein Ligamentum metatarsoseseimoideum und in ein Ligamentum sesamoideophalangeale.

Abhängig davon, ob das mediale oder das laterale Sesambein in das Band miteinbezogen ist, spricht man auch von medialem oder lateralem Ligamentum metatarsoseseimoideum bzw. Ligamentum sesamoideophalangeale. Die Sesambeine selbst sind durch ein kurzes, breites Band verbunden, das so genannte Ligamentum intersesamoideum.

Zudem verbindet sich die Sehne des medialen Kopfes des M flexor hallucis brevis in ihrem distalen Verlauf mit der des M. abductor hallucis und die Sehne des lateralen Kopfes mit der des M. adductor hallucis [24]. Die Sehnen dieser Muskeln und die Plantaraponeurose beteiligen sich nach Mann und Coughlin [49] an der Bildung eines „fibrous plantar pad“, in dessen Ränder auch das vom zweiten Metatarsale ausgehende Ligamentum metatarsium

transversum profundum einstrahlen [24]. Für die optimale Lage der Sesambeine zum Mittelfußknochen ist das Gleichgewicht der Muskelverhältnisse von großer Bedeutung. Zu den bereits genannten Muskeln gruppieren sich weitere am Großzeh inserierende Muskeln, die das empfindliche Gleichgewicht beeinflussen können.

1.2.3 Muskeln

Die Sehne des M. flexor hallucis longus zieht auf der plantaren Oberfläche des „fibrous plantar pad“, in der Rinne zwischen den beiden Sesambeinen, zu ihrer Insertionsstelle an der Basis der Endphalanx. Durch starke Bindegewebszüge der Vagina fibrosa hallucis wird sie in dieser Rinne gehalten.

Die Sehne des M. abductor hallucis, der vom Processus medialis tuberi calcanei und der Plantaraponeurose entspringt und parallel zum Schaft des ersten Mittelfußknochens verläuft, zieht medial um das ihr als Hypomochlion dienende Caput ossis metatarsalis I und setzt zusammen mit der Sehne des medialen Kopfes des M. flexor hallucis brevis plantar-medial an der Basis des proximalen Phalanx an. Der M. abductor hallucis hält die Geradstellung der Großzehe aufrecht und drückt zugleich das erste Metatarsal nach lateral in Richtung auf das zweite Metatarsale. Der M. adductor hallucis entspringt mit seinem Caput transversum von der Gelenkkapsel der Metatarsophalangelagelenke der Zehen III bis V und mit seinem Caput obliquum von der plantaren Fläche des Os cuneiforme laterale und dem Ligamentum plantare longum. Die gemeinsame Sehne unterkreuzt das Ligamentum metatarsium transversum profundum und inseriert zusammen mit der Sehne des lateralen Kopfes des M. flexor hallucis brevis plantar-lateral an der Basis der Grundphalanx und am lateralen Sesambein.

Dorsal zieht die distal in die Dorsalaponeurose der Endphalanx übergehende Sehne des M. extensor hallucis longus über das Großzehengrundgelenk. Sie ist über ein Retinaculum („hood ligament“ [24]) an der Basis der Grundphalanx fixiert. Von lateral kommend setzt im dorsalen Teil des Retinaculums die Sehne des M. extensor hallucis brevis an. Wie oben erwähnt, ist die Position der Großzehengrundphalanx und der Sesambeine zum ersten Mittelfußknochen abhängig vom Kräfte- und Zuggleichgewicht dieser Muskeln. Eine Beeinflussung dieses empfindlichen Gleichgewichts ist eine der Quellen für die Entstehung eines Hallux valgus.

1.3 Ätiologie des Hallux valgus

Viele Faktoren können in das Gleichgewicht, welches den HV-Winkel im physiologischen Bereiche hält, eingreifen. Zahlreiche Studien [26, 36, 49, 58, 72] haben sich mit der Analyse

dieser Faktoren beschäftigt und versucht die jeweilige Pathogenität zu charakterisieren. Eine anschauliche Gliederung in extrinsische und intrinsische Faktoren stammt von Coughlin [14].

1.3.1 Extrinsische Faktoren

Dabei ist der wohl wichtigste extrinsische Faktor der moderne Schuh. Diese These wird durch zwei Erkenntnisse gestützt:

- 1.) Geringe Inzidenz dieser Erkrankung bei barfuß laufenden Menschen im Vergleich zu schuhtragenden Menschen der gleichen Gesellschaft.
- 2.) Häufigeres Auftreten des Hallux valgus bei Frauen. Mann und Coughlin [49] berichten von einer 94% (von 100 Patienten) und Hardy und Clapham [26] in ihrer Studie von 89 Patienten von einer 88% Prädominanz der Frauen.

Frauenschuhe, welche oft zu schmal sind und spitz zulaufen, üben einen Druck auf die Großzehengrundphalanx aus, welches dadurch in Valgusstellung gehalten wird. Schuhe mit hohen Absätzen können zudem den ersten Strahl anheben und eine Abspreizung und eine Supination des ersten Metatarsale hervorrufen, was zu der Bildung eines Spreizfußes mit Überbelastung der übrigen Zehen führen kann. Das Resultat sind Schmerzen im mittleren Vorderfußbereich (eine sogenannte Metatarsalgie) und ein funktionsloser erster Strahl [76]. Diese Theorie wird durch eine Studie von Sim-Fook et al. [72] aus China unterstützt, wo die Prävalenz des Hallux valgus in der schuhtragenden Gesellschaft 15mal höher war, als in der barfuß laufenden Bevölkerung. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen 1981 Kato und Watanabe [36] in Japan. Sie registrierten infolge der Einführung von modischem Schuh nach dem Ende des zweiten Weltkrieges einen drastischen Anstieg der Hallux-valgus-Prävalenz bei Frauen.

Hardy und Clapham sowie Johnston [26, 34] führen den geschlechtsspezifischen Prävalenzunterschied auf diesen extrinsischen Faktor zurück.

Während enges Schuhwerk den wichtigsten extrinsischen Faktor für das Entstehen des Hallux valgus darstellt, spricht sowohl das Fehlen eines Hallux valgus bei bestimmten Frauen, die spitz zulaufende Schuhe mit hohen Absätzen tragen, als auch die Entwicklung eines Hallux valgus bei Männern und Kindern dafür, dass es weitere ätiologische Faktoren geben muss, welche auch die unterschiedliche Inzidenz des Hallux valgus in der weiblichen schuhtragenden Gesellschaft erklären.

1.3.2 Intrinsische Faktoren

Unter diesem Aspekt werden Faktoren zusammengefasst, die einen Menschen, aufgrund anatomischer Gegebenheiten, anfälliger machen, einen Hallux valgus zu entwickeln. Man spricht deshalb auch von prädisponierenden anatomischen Faktoren [76].

1.3.2.1 Fußform

Der ägyptische Fuß, bei dem der Großzeh am längsten ist in Kombination mit einem in Relation zum zweiten Metatarsale kurzen ersten Mittelfußknochen (so genannte Index-minus-Variante) scheint prädisponierend für die Entwicklung eines Hallux valgus zu sein [76]. Das Risiko der Ausbildung eines Hallux valgus bei dieser Prädisposition wird noch verstärkt durch das Tragen von vorne spitz zulaufenden Schuhen.

Dabei spielt nicht die absolute Länge des ersten Mittelfußknochens die entscheidende Rolle sondern eher das Verhältnis zwischen ersten und zweiten Metatarsale. Dabei wirkt die Index-minus-Variante, bei der das erste Metatarsale kürzer als das zweite Metatarsale ist, am stärksten prädispositionierend [22].

Morton [52] erklärte 1935 das kurze erste Metatarsale zum Risikofaktor, was Harris und Beath [27] 1949 nicht bestätigen konnten. Cedell und Mats sowie weitere Autoren [12, 24, 37] sehen im langen Metatarsale vor allem bei der Entstehung des Hallux valgus bei Jugendlichen eine Gefahr.

1.3.2.2 Spreizfuß

Die Absenkung des Fußquergewölbes ist eine statische Deformität, die z.B. durch unzureichendes Schuhwerk bedingt wird, aber auch durch endogene Faktoren und Übergewicht. Für Cedell und Mats [12] ist die Abschwächung des vorderen Quergewölbes die grundlegende Ursache für die Entstehung des Hallux valgus mit all seinen Begleiterscheinungen wie plantare Schwielenbildung an den Stellen der Metatarsalköpfchen und Hammerzehenbildung. Er sieht die mediale Abweichung des ersten Mittelfußknochens als Teil dieses Phänomens und warnt davor, sie als unabhängige Erkrankung zu betrachten. Kelikian [38] bezweifelt jedoch die Existenz eines Quergewölbes und Hardy & Clapham [26] konnten keine signifikante Assoziation zwischen einem Hallux valgus und der Vorfußbreite feststellen.

1.3.2.3 Pes planus

Die Rolle des Plattfußes in der Entwicklung des Hallux valgus ist umstritten. Coughlin & Mann [16] sehen zwar eine Verbindung in der Progressionsgeschwindigkeit des Hallux valgus und der Absenkung des medialen Längsgewölbes, betrachten aber die Rückfuß-Fehlstellung nicht als mögliche Ursache der Hallux-valgus-Entstehung.

Inman [33] hat hingegen beobachtet, dass ein Hallux valgus selten auftritt, wenn das mediale Längsgewölbe intakt ist. Des Weiteren vertritt er die Meinung (konnte sie aber nie belegen),

dass ein Hallux valgus immer mit einem Plattfuß verbunden ist und der Plattfuß der ausschlaggebende Faktor, für die Entstehung des Hallux valgus ist. Ein Zusammenhang zwischen diesen beiden Fußanomalien könnte bei manchen Fällen in einer Bindegewebsschwäche zu finden sein, welche zu einer Instabilität sowohl des medialen Längsgewölbes als auch des MTP-Gelenkes führen kann.

1.3.2.4 Metatarsus primus varus

Der Zusammenhang zwischen Hallux valgus und Metatarsus primus varus wurde vielfach in der Literatur erwähnt. Hardy & Clapham [26] berichten von einer hohen Korrelation ($r=0,71$) zwischen dem Hallux-Valgus-Winkel und dem Intermetatarsal-I/II-Winkel. Von allen gemessenen Daten in ihrer Studie hatten diese beiden Parameter die höchste Korrelation. Diese enge Beziehung muss bei der Therapie immer beachtet werden. Truslow [78] war der erste der, die Vermutung aufgestellt, dass die Varusneigung die grundlegende Ursache für den Hallux valgus ist. Dies hat zu der, in der Literatur kontrovers diskutierten „Henne und Ei“ Frage geführt, ob die mediale Abweichung des Metatarsale die Ursache [2, 19] oder das Ergebnis [26, 58] einer lateralen Abweichung der Großzehe ist. Kelikian [38] hat vier Theorien für die Entstehung eines Metatarsus primus varus aufgestellt:

- 1.) Ein schräger Verlauf des ersten Metatarsocuneiform-Gelenkes
- 2.) Die Krümmung dieses Gelenkes erhöht die Beweglichkeit und somit die Tendenz einer medialen Abweichung des ersten Metatarsale
- 3.) Das zwischen dem ersten und zweiten Mittelfußknochen eingekeilte laterale Sesambein, drängt das erste Metatarsale zur Mitte
- 4.) Die nach lateral abweichende Großzehe drückt – durch Muskelzug an der Großzehe – das erste Metatarsale nach medial

Die ersten beiden Theorien unterstützen den Standpunkt, dass die mediale Abweichung des ersten Mittelfußknochens Ursache des Hallux valgus ist, während die letzten beiden vom Gegenteil ausgehen. Die Theorie, dass das laterale Sesambein den ersten Mittelfußknochen nach medial drückt, ist zudem nicht ganz nachvollziehbar, da es der erste Mittelfußknochen ist, welcher nach medial wandert und die Sesambeine, fixiert am zweiten Mittelfußknochen, an Ort und Stelle bleiben. Das mediale Sesambein nimmt lediglich den Platz zwischen ersten und zweiten Mittelfußknochen ein, da es nicht mit dem ersten Mittelfußknochen nach medial wandert.

Da, wie Kilmartin et al. [39] feststellten, nicht jeder Metatarsus primus varus zu einem Hallux valgus führt und auch ein Metatarsus primus varus an beiden Füßen mit einseitigem Hallux valgus gefunden wird, kann der Schluss gezogen werden, dass ein Metatarsus primus varus

zu einem Hallux valgus prädispositioniert, ihn aber nicht zwangsläufig zur Folge hat. Ist ein Hallux valgus einmal entstanden vergrößert er durch den oben genannten Muskelzug den Intermetatarsal-I/II-Winkel [39].

1.3.2.5 Distaler Metatarsale-Gelenkflächen-Winkel (DMAA)

Der Winkel der von der Achse des Metatarsale I und dessen distaler Gelenkfläche gebildet wird, ist normal kleiner acht Grad [15]. Ein großer Winkel kann zu einem Hallux valgus mit kongruentem MTP-Gelenk führen, der, wie Piggott [58] beschreibt, eine geringe Progredienz zeigt. Obwohl ein kongruenter Hallux valgus stabiler ist als ein subluxierter, erschwert ein hoher DMAA (distal metatarsal articulation angle) die Therapie. Wie Coughlin [15] in einer Studie zeigen konnte, in der er 34 männliche Patienten mit Hallux valgus behandelte, ist die Rezidivrate in der Gruppe mit größerem DMAA signifikant höher, als in der Gruppe mit kleinerem DMAA. Die Messung dieses Winkels ist somit für die Operationsplanung obligat.

1.3.2.6 Hypermobilität des Tarso-Metatarsal-gelenkes

Zur Entstehung des Hallux valgus trägt auch die Stabilität des ersten Tarsometatarsalgelenkes bei. Die biomechanische Achse in diesem Gelenk ist schräg angelegt und erlaubt Bewegungen des Metatarsale-I-Köpfchens von dorsomedial nach plantar lateral.

Nach Mann & Coughlin [16] ist eine Hypermobilität des ersten Tarsometatarsalgelenkes mit einer größeren Hallux-valgus-Deformität vergesellschaftet als ein stabiles Gelenk. Ein klinisches Merkmal bei der körperlichen Untersuchung war nach Meinung der Autoren die Clavusbildung unter dem zweiten Metatarsaleköpfchen als Folge der Fehlbelastung des Vorfußes durch eine dorsomediale Abweichung des ersten Metatarsale. Sie bezweifeln jedoch, dass die Mobilität dieses Gelenkes in mehr als 5% der Patienten mit symptomatischen Hallux valgus signifikant erhöht ist.

1.3.2.7 Vererbung

Hardy und Clapham [26] stellten auch eine familiäre Häufung bei der Erkrankung des Hallux valgus fest. Sie fanden eine positive Familienanamnese bei 63% ihrer 91 Patienten.

Johnston [34] behauptet, dass der Vererbungsvorgang des Hallux valgus in manchen Fällen autosomal dominant mit inkompletter Penetranz sei. Aufgrund dieser Ergebnisse könnte eine Disposition zur Hallux-valgus-Entstehung familiär bedingt sein. Erblisch erworbene Faktoren die zu einem Hallux valgus führen können sind nach Tourné et al. [76]:

1. Ein schräges erstes Tarso-Metatarsal-Gelenk

2. Eine ägyptische Fußform kombiniert mit einer Index-minus-Variante
3. Dysplasie des ersten Metatarso-Phalangeal-Gelenkes
4. Dysplasie des „intersesamoidal ridge“

1.3.2.8 Weitere unspezifische Risikofaktoren

Weitere Faktoren, die zu einem Hallux valgus führen können, sind beispielsweise eine Pronationsfehlstellung des Fußes bei zerebraler Spastik, Arthritiden des Großzehengrundgelenkes bei z.B. chronischer Polyarthritis oder Gicht und Traumata von Knochen oder Weichteilen.

Der Digitus primus valgus interphalangeus, bei dem die proximale Phalanx nach lateral gekrümmt ist, wird aufgrund der Dezentrierung der langen Strecksehne als prädisponierende Deformität angesehen.

Das Alter hat laut Helal & Wilson [29] einen sehr geringen Einfluss auf die Entstehung eines Hallux valgus.

Wie man anhand der Auflistung der wichtigsten ätiologischen Faktoren erkennen kann, führen zahlreiche unterschiedliche anatomische Gegebenheiten zu einer Fehlstellung im MTP-Gelenk. In den meisten Fällen ist eine klare Ursache-Wirkung-Beziehung mit einem einzigen Faktor nicht erkennbar. Auch führen unterschiedlichen Studien zu verschiedenen Ergebnissen, was anhand des Pes planus deutlich wird. Nur wenige Faktoren wurden in der Literatur regelmäßig bestätigt und selten angezweifelt. Dazu gehören unphysiologische Schuhe und der Metatarsus primus varus. Beide Faktoren korrelieren stark mit der Entstehung eines Hallux valgus, wobei auch bei einem Metatarsus primus varus die Rolle als „Verursacher“ nicht belegt ist.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass viele Entstehungsbedingungen zu einem Hallux valgus führen und meistens eine Verbindung mehrerer Risikofaktoren und Pathomechanismen, für das klinische Bild eines Hallux valgus und die Beschwerden verantwortlich sind.

Kommt es jedoch zu einer Instabilität im MTP-Gelenk, ist der weiterführende Weg meist einheitlich.

1.4 Pathogenese

Die Deformität des Hallux valgus entsteht an zwei Gelenken: Dem Tarso-Metatarsal-Gelenk (TMT-Gelenk) und dem MTP-Gelenk. Ein schräges TMT-Gelenk kann wie in Abschnitt 1.3.2.4 dargestellt, zu der Ausbildung eines Metatarsus primus varus führen.

Die Gelenkfläche des Metatarsale-Köpfchens ist entweder flach oder abgerundet. Das runde Köpfchen sowie eine Subluxation führen zu einem instabilen MTP-Gelenk. Ein kongruentes MTP-Gelenk ist stabil und neigt normalerweise nicht zur Subluxation. Ist ein hoher DMAA Ursache des Hallux valgus, findet sich meist ein kongruentes MTP-Gelenk. Die Symptome entstehen durch das mediale Hervortreten des Metatarsale-I-Köpfchens, welches in Schuhen komprimiert und durch die Reibung stark gereizt wird und letztlich einen schmerzhaft entzündlichen Schleimbeutel oder eine Nervenreizung zur Folge hat.

Ein Hallux valgus mit subluxiertem MTP-Gelenk neigt in den meisten Fällen zur Progression. Wenn der Großzeh nach lateral abweicht, drückt er das erste Metatarsale nach medial, was sich in einer Erhöhung des Intermetatarsal-I/II-Winkels zeigt. Da kein Muskel am Metatarsale-I-Köpfchen als Gegenkraft ansetzt, kann dies aktiv nicht verhindert werden. Gleichzeitig dehnt sich die mediale bzw. schrumpft die laterale Gelenkkapsel.

Während das Metatarsale-I-Köpfchen nach medial abweicht, werden die Sesambeine durch ihre laterale Verankerung am M. adductor hallucis an ihrem Platz gehalten. Im weiteren Verlauf kann es zum Abrieb des „intersesamoid ridge“ kommen, welche bis dahin ein Abgleiten des Metatarsalköpfchens von den Sesambeinen verhindert hat. Die Divergenz von Mittelfußknochen und Sesambeinen führt zu starkem Zug an der medialen Kapsel. Der schwächste Anteil der medialen Kapsel liegt direkt über der Sehne des M. abductor hallucis. Mit zunehmendem Zug gibt dieser Kapselanteil nach, was zu einer Verlagerung der Abductorsehne unter den nach medial abweichenden Mittelfußknochen führt. Dies hat zwei Konsequenzen:

1. Der M. abductor hallucis kann seiner früheren Aufgabe der Gelenkstabilisation nicht mehr nachkommen.
2. Da der M. abductor hallucis nach plantar wandert und mit dem Phalanx proximale verbunden ist, dreht er die Großzehengrundphalanx um seine Längsachse in eine Pronationsstellung. Ein Fortschreiten des Hallux valgus verstärkt die Pronation, was von Borton & Stephens [8] bestätigt wird.

In schweren Fällen entsteht aus dem ersten Mittelfußknochen, dem Großzehen und dem M. extensor hallucis longus sowie dem M. flexor hallucis longus ein Bogen, bei dem die Muskeln die Saite bilden. Ein Zug an dieser Saite führt zur Spannung dieses Bogens und somit zur Verstärkung des Hallux valgus. Der lange Streckmuskel und der lange Beugemuskel adduzieren somit die Großzehe zusätzlich zu ihrer ursprünglichen Funktion. Die englischsprachige Literatur verwendet hierfür den Ausdruck „*bowstring effect*“ [30]. Dieser „*bowstring effect*“ führt auch bei einem Hallux valgus interphalangeus zu der Valgusbildung im MTP-Gelenk. Der Zug am Zehenendglied, welches aufgrund des Hallux valgus interphalangeus nach lateral abweicht, wird durch den Muskelzug weiter nach lateral

verschoben. Dabei übt es einen lateral betonten Druck auf die Großzehengrundphalanx aus, welche den ersten Mittelfußknochen nach medial schiebt.

Bei weiterer Progression kann es zu einer Dislokation der Sesambeine in den Intermetatarsalraum kommen.

Bei zunehmender Instabilität des MTP-Gelenkes, trägt der erste Strahl immer weniger Gewicht. Die Last am Vorfuß wird nach lateral verlagert, was zu einer Klavusbildung unter dem zweiten bis vierten Metatarsalköpfchen mit begleitenden Schmerzen (sog. Transfermetatarsalgie) in diesem Bereich führen kann.

In den frühen Stadien eines Hallux valgus wird der schmerzhafte „Ballen“ allein durch den medialen Anteil des nach medial subluxierten Mittelfußköpfchens hervorgerufen [24]. Die über das Köpfchen ziehenden Anteile des medialen Kapselapparates sind als Reaktion auf ihre Dehnung meist verdickt. Dort, wo sie Druck auf den Gelenkknorpel ausüben, kann es im weiteren Verlauf in geringem Umfang zu einer reaktiven Knochenneubildung kommen [28], wodurch der Ballen vergrößert wird. Auf den eben nicht mehr von der Grundphalanx bedeckten Teil des Gelenkknorpels üben die medialen Bänder keinen Druck aus. Hier kommt es zu einer Knorpeldegeneration, was sich im Röntgenbild als Rinne darstellt (*sagittal groove*) [24, 28]. Die Verdickung einer sich über dem prominenten Mittelfußköpfchen entwickelnden Bursa oder eine entzündliche Bursitis können den „Ballen“ noch mehr hervortreten lassen und die Schmerzen verstärken.

Schmerzen entstehen auch im Bereich der zweiten Zehe, wenn sie durch die Großzehe entweder nach plantar oder dorsal verdrängt wird. Dadurch kann es zur Ausbildung eines Digitus secundus super- oder infraductus, sowie zu einer Krallenzehe kommen.

1.5 Therapie

1.5.1 Therapiegrundsätze

Anhand der Pathogenese kristallisieren sich die drei wichtigsten Ziele der Therapie des Hallux valgus heraus [76]:

1. Wiederherstellung einer physiologischen Gelenkachse am ersten Metatarso-Phalangeal-Gelenkes durch Verkleinerung des Intermetatarsal-I/II-Winkels und Reposition des MTP-Gelenkes
2. Herstellung einer physiologischen und ausgeglichenen Muskelfunktion mit ausreichender Unterstützung der ersten Zehe. Dies wird durch das Medialisieren der Bänder, Muskeln und Sesambeine erreicht.

3. Schmerzfreiheit und Elimination von Schuhproblemen (Exostose, Metatarslagie und Krallenzehen).

Bei den allgemein unbefriedigenden Ergebnissen der konservativen Behandlung des Hallux valgus (s. Seite 19) werden betroffene Patienten mit Behandlungswunsch meist rasch zur Frage der operativen Versorgung vorgestellt. Doch so mannigfaltig wie die Ätiologie ist (s. Kapitel 1.3) und so häufig, wie der Hallux valgus neu interpretiert wird (s. Kapitel 1.1), so sind in der Vergangenheit unterschiedliche Therapieansätze publiziert worden.

1.5.2 Geschichte der Hallux valgus Therapie

Seit der Erstbeschreibung des Krankheitsbildes durch Volkmann wurde eine unüberschaubare Anzahl von Konzepten zur Therapie des Hallux valgus erstellt. Zu den verschiedenen konservativen Ansätzen gesellen sich mehr als 130 Operationsmethoden [28]. Eine derart hohe Anzahl an Operationen zeigt, dass es keinen chirurgischen Eingriff gibt, der jede Hallux-valgus-Deformität und das unterschiedliche Beschwerdebild dieser Krankheit zufrieden stellend therapieren kann. 1925 schrieb Payr [56], dass sich die Operationsmethoden zur Behandlung des Hallux valgus zu jener Zeit stark vermehrten und dass Chirurgen und Orthopäden darin wetteiferten, neue Heilpläne zu erstellen und bekannte Verfahren abzuändern. Dem stand Payr schon damals skeptisch gegenüber. Anhand dieser und ähnlicher Aussagen wird deutlich, wie schwer eine sachgerechte, befundbezogene Therapie der Deformität ist.

Die konservative Therapie z.B. mit Orthesen führt nach Torkki et al. [74] nur zu einer kurzfristigen Symptomlinderung, was die Operation zur Therapie der Wahl macht.

Eine Operation ist aber nicht in jedem Fall indiziert, da auch Patientinnen und Patienten mit schwerer Vorfußdeformität ohne chirurgische Maßnahmen ein Leben lang mit ihrem Hallux valgus ohne größere Probleme leben können. Zudem ist eine Hallux-valgus Operation bei unzureichender Blutversorgung oder neurologische Erkrankungen und den damit verbundenen schlechten Haut- und Weichteilverhältnissen des Fußes kontraindiziert [71].

Das Spektrum der Operationsmethoden reicht von Weichteileingriffen über Osteotomien der Großzehen-Grundphalanx, sowie Arthrodesen und Arthroplastiken des ersten MTP-Gelenkes bis hin zu distalen und proximalen Osteotomien des ersten Metatarsale und der Fusion der Articulatio metatarsocuneiforme.

Die Auswahl des geeigneten Operationsverfahrens basiert auf der klinischen Untersuchung, der radiologischen Auswertung, sowie den Lebensumständen der Patientin oder des Patienten. Milde Deformitäten können mit einer distalen Osteotomie und schwere

Deformitäten mit einer proximalen Osteotomie korrigiert werden. Nach genauer Analyse der dem Leiden zugrunde liegenden Pathologie führen laut Wülker & Suckel [82] gelenkerhaltende Eingriffe zu besseren funktionellen und kosmetischen Ergebnissen als alleinige Weichteileingriffe, Resektionsarthroplastiken oder Arthodesen.

1.5.3 Die Basisosteotomie des Metatarsale I

Proximale Osteotomien haben die Potenz, eine hohe Winkelkorrektur zu erzielen. Die Metatarsale-I-Basisosteotomie mit Entnahme eines lateralbasigen Knochenkeiles, „closed wedge Osteotomie“ genannt, ist eine schon lange bekannte Form der Korrektur des Metatarsus primus varus im Rahmen der Hallux-valgus-Chirurgie. Sie wurde erstmals 1901 von Loison [47] beschrieben und 1903 von Balacescu [4] angewendet, der zudem noch einen Keil aus dem medialen Os cuneiforme entfernte. 1919 bestätigte Juvara [35] die Bereicherung der Hallux valgus Therapie durch die closed wedge Osteotomie. Aufgrund einiger Nachteile ist sie jedoch in den letzten Jahrzehnten gegenüber anderen Osteotomieformen in den Hintergrund getreten. Als Nachteile werden angesehen: Notwendigkeit einer Doppelinzision [10], Probleme der Osteosynthese [12, 25], lange Entlastungsnotwendigkeit [61], Verkürzung des Metatarsale I [45] und damit verbundene mögliche Transfermetatarsalgie [6] sowie ungünstige Beeinflussung des distalen Metatarsale-I-Gelenkflächenwinkels (DMAA) [25].

Die closed wedge Basisosteotomie steht in Konkurrenz mit zahlreichen weiteren Basisosteotomien, die, wie Rokkanen et al. [64] schreiben, technisch nicht so anspruchsvoll seien und postoperativ einer nicht so intensiven Nachbehandlung (z.B. Entlastungszeit) bedürfen. Zu den häufig angewandten proximalen Osteotomien zählen z.B. die Crescentic und basale Chevron Osteotomie. Die von Rokkanen beschriebenen Faktoren könnten ein Grund dafür sein, dass in der Literatur nur wenige Studien über die closed wedge Basisosteotomie zu finden sind, welche zudem nur eine sehr geringe Fallzahl beinhalten [25, 61, 64, 81].

Aktuelle Studien [25, 61, 64] zeigen, dass bei der closed wedge Osteotomie eine verbesserte Operationstechnik, eine entsprechend stabile Fixierung und ein passender postoperativer Entlastungsschutz zu einer Verminderung der oben genannten Nachteile führen.

Zur Fixierung der Osteotomie wurden vielfach Schrauben oder Nägel eingesetzt, was ein möglicher Grund für die verzögerte Frakturheilung und die lange Entlastungsnotwendigkeit ist. In der vorliegenden Studie wurde medial die Kortikalis und das Periost erhalten sowie lateral eine Osteosyntheseplatte verwendet, um die Osteotomie zu stabilisieren.

2 Aufgabenstellung

Im Rahmen dieser Studie soll untersucht werden, ob die etwas aufwendigere Operationsmethode die Rezidivhäufigkeit senkt und die Operation die Beschwerden des Patienten zuverlässig beseitigt.

Ziel dieser retrospektiven Analyse von 86 operierten Füßen ist es, die closed wedge Basisosteotomie anhand klinischer und radiologischer Untersuchungen sowie der Anwendung zweier anerkannter und häufig publizierter Nachuntersuchungsscores zu bewerten und ihren Stellenwert in der operativen Behandlung des Hallux valgus zu definieren. Besonderes Augenmerk soll dabei auf folgende Aspekte gelegt werden:

- Ergibt die Osteosynthese mit einer lateral angebrachten Osteosynthese-Platte unter Erhalt der medialen Corticalis eine stabile Situation mit Verhinderung einer sekundären Dislokation des ersten Metatarsale nach dorsal bzw. nach medial.
- Führt die closed wedge Basisosteotomie häufiger zur Transfermetatarsalgie
- Welche Faktoren begünstigen einen Korrekturverlust im Nachuntersuchungszeitraum

3 Patienten und Methode

3.1 Patientenkollektiv

Im Zeitraum von April 1998 bis Mai 2004 wurde bei 107 Patienten bzw. bei 142 Füßen eine Metatarsale-I-Basis-Osteotomie durchgeführt. Es handelt sich um eine konsekutive Serie eines Operateurs mit 5 (4,7%) männlichen und 102 (95,3%) weiblichen Patienten.

Indikationen zur Operation waren Einschränkungen bei der Schuhwahl sowie anhaltender Schmerz und Beschwerden trotz konservativer Behandlung.

Aufgrund der Ein- und Ausschlusskriterien nahmen an der Studie 66 Patientinnen teil. Bei 20 von ihnen wurden beide Füße operiert, so dass 86 Füße nachuntersucht wurden.

Die Patientinnen waren zum Zeitpunkt der Operation 30 bis 84 Jahre alt (Mittelwert $57,7 \pm 11,4$ Jahre).

3.1.1 Einschlusskriterien

In die Studie wurden nur Patienten aufgenommen, die nach der auf Seite 22 beschriebenen Methode operiert wurden, deren präoperativer Intermetatarsale-I/II-Winkel größer 12° und deren präoperativer Hallux-valgus-Winkel größer 22° war. Zum anderen musste von ihren Füßen eine präoperative Röntgenaufnahme vorhanden sein, die max. zwei Monate vor der Operation und wegen der Vergleichbarkeit der Aufnahmetechnik ausschließlich in der Praxis des Operateurs angefertigt wurde.

3.1.2 Ausschlusskriterien

Ausgeschlossen wurden Patienten mit Vorfußdeformitäten bei chronischer Polyarthritits und anderen Erkrankungen aus dem rheumatischen Formenkreis sowie Patienten mit neurologischen Erkrankungen oder posttraumatischer Hallux valgus Fehlstellung, da es sich hierbei um Patienten mit sekundärem Hallux valgus handelt. Patienten mit Systemerkrankungen, wie z.B. der progressiven systemischen Sklerose oder dem systemischen Lupus erythematodes wurden ebenfalls aus der Studie ausgeschlossen. An chronischer Polyarthritits litten 20 Patienten von denen 11 beidseits operiert wurden, an der progressiven systemischen Sklerose litten zwei Patientinnen (drei Füße) und am systemischen Lupus erythematodes eine Patientin (ein Fuß).

Bei vier der restlichen Patienten (sechs Füße) war keine passende präoperative Röntgenaufnahme vorhanden, sodass 80 Patienten (77 weiblich, 3 männlich) zur Nachuntersuchung eingeladen wurden. Von den 77 weiblichen Patientinnen kamen 66 zur Nachuntersuchung. Von den elf Patientinnen, die nicht zur Nachuntersuchung kamen, konnte bei drei Patientinnen die Adresse nicht mehr herausgefunden werden und zwei waren verstorben. Sechs Patientinnen, von denen eine beidseits operiert worden war sowie die drei männlichen Patienten verweigerten aus Zeitgründen die Teilnahme an der Studie.

An der Studie nahmen somit 66 Patientinnen (61,7%) teil, von denen 20 an beiden Füßen operiert wurden. Das ergibt eine Gesamtzahl von 86 (61,0 %) operierten Füßen (43 linke und 43 rechte Füße).

Die Nachuntersuchungen fanden vom 30. Juni 2005 bis 16. September 2005 statt. Der Zeitraum zwischen Operation und Nachuntersuchung betrug im Minimum 12 Monate und maximal 90 Monate (Mittelwert $52,0 \pm 20,4$ Monate).

20 Patientinnen (36 Füße) erhielten zusätzlich eine Verkürzungsosteotomie des 2. Strahles (Operation nach Weil) und 10 Patienten (18 Füße) eine Osteotomie der Grundphalanx des 1. Strahles (Operation nach Akin).

Alle in die Ergebnisse der Nachuntersuchung eingehenden Patienten wurden von einem Operateur in nachfolgend beschriebener Weise operiert.

3.2 Methode

3.2.1 Operationstechnik

Die Operation teilt sich in einen distalen Weichteileingriff am Großzehengrundgelenk und die proximale Osteotomie am ersten Metatarsale.

Distale Weichteilkorrektur

Die Operation wird in Vollnarkose plus zusätzlichen Leitungsblock (Tibialisblock oder Fußblock) und Blutleere durchgeführt. Nach einem dorsomedialen Hautschnitt am Großzehengrundgelenk sowie der Darstellung des dorsomedialen Gefäßnervenbündels, wird dieses freipräpariert und zur Seite weg gehalten. Die Gelenkkapsel wird längs gespalten, sowie das Gelenk freipräpariert und inspiziert. Die freigelegte Pseudoexostose wird dorsomedial tangential abgetragen und der Resektionsrand geglättet.

Anschließend folgt eine transartikuläre Arthrolyse des Gelenkes mit Durchstoßung der lateralen Kapsel oberhalb des lateralen Sesambeines. Wenn dieses Vorgehen nicht ausreicht, um das kontrakte Gelenk zu reponieren, wird ein lateraler Hilfsschnitt angelegt und der Abduktor-hallucis-brevis tangential am Sesambein und der Grundphalanxbasis abgetrennt.

Gegebenenfalls wird zusätzlich die Gelenkkapsel lateral gestichelt um einen Ausgleich der weichteiligen Fehlstellung zu erreichen.



Abb. 3-1 Präoperative Aufnahme des Fußes; medial ist deutlich das Hervortreten des Metatarsale-I-Köpfchens zu sehen, was die Haut in diesem Bereich reizt (erkennbar an der Rötung) und zu einer Schleimbeutelentzündung führen kann. Zusätzlich sieht man eine Luxation der Grundgelenke zwei und drei sowie eine schmerzhaft superductus Stellung des Kleinzehs



Abb. 3-2 Dorsomedialer Hautschnitt mit Freipräparation des Gelenkes und transartikulärer Arthrolyse



Abb. 3-3 Tangentiale Abtragung der dorsomedialen Pseudoexostose mit Glättung der Resektionsränder

Closed wedge Basisosteotomie

Es folgt ein Wechsel auf einen Hautschnitt über der Basis des Metatarsale I. Zwischen den Strecksehnen wird auf den Knochen eingegangen. Das Periost wird längs gespalten und lateral derart abgeschoben, dass ein gebogener Hohmann-Hebel eingesetzt werden kann. Einen Zentimeter distal des ersten Tarsometatarsal-Gelenkes wird die Osteotomie durchgeführt. Entscheidend für die Stabilität ist die vollständige Belassung der medialen Weichteile, insbesondere des Periosts (idealer Weise bleibt auch die mediale Corticalis erhalten). Ein entsprechender Keil mit lateraler Basis wird abgesetzt. Der Knochen wird umgestellt und die Osteotomie lateral mit einer Mini L-Platte fixiert. Die Platte kommt idealerweise zwischen Metatarsale I und II zu liegen.



Abb. 3-4 Hautschnitt über der Basis des Metatarsale I mit Ansetzen der Osteotomie unter Erhalt der medialen Kortikalis und Aussägen eines definierten lateralbasigen Keils (ca. 15-20°, je nach MT-I/II-Winkel)

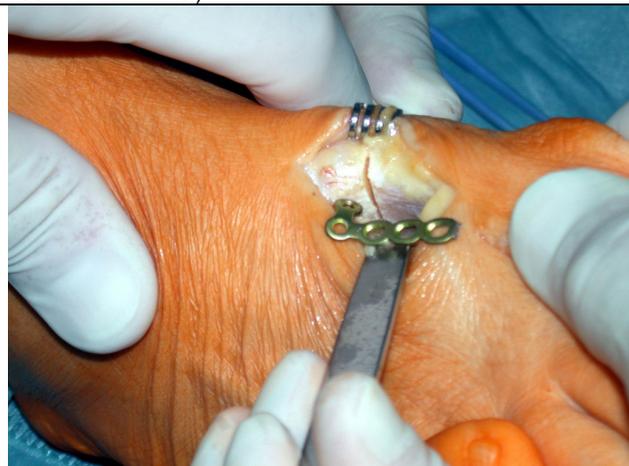


Abb. 3-5 Zuklappen der Osteotomie und Anpassen der L-Platte



Abb. 3-6 Einlegen einer Redon-Drainage. Die L-Platte zwischen Metatarsale I und II

AKIN Osteotomie

Bleib der Valgusschwung innerhalb der ersten Zehe mit Bedrängung der zweiten Zehe bestehen (d.h. bei zusätzlichem Hallux valgus interphalangeus), wird zusätzlich die AKIN-

Osteotomie distal am Grundglied durchgeführt. Die Entscheidung fällt während der Operation. In diesen Fällen folgt eine Verlängerung des Hautschnittes nach distal. Das Grundglied wird mit zwei Hohmann-Haken umfahren, die Osteotomie mit Absetzen eines 10° Keiles mit medialer Basis unter Erhalt der lateralen Corticalis ein Zentimeter distal des Grundgelenkes durchgeführt und der Knochen umgestellt. Die Fixierung erfolgt mit einer schräg von medial-proximal eingebrachten Mini-Schraube (2,3mm).

Nach mehrfacher Spülung der Wunde und Einlegen einer Redondrainage folgt die Kapselnaht, Subkutannaht und intrakutane Hautnaht. In der Regel wird dabei aus dem plantaren Kapselanteil bis zum medialen Rand des medialen Sesambeins ein keilförmiges Exzidat entnommen, die Kapsel anschließend gerafft und der dorsale Kapselanteil über den plantaren Anteil im Sinne einer Doppelung vernäht (= Cerclage fibreuse).

WEIL Osteotomie

Bei der entsprechenden Indikation (Metatarsalgie, Luxation der Zehengrundgelenke) wird zusätzlich in der gleichen Sitzung eine verkürzende Osteotomie der Mittelfußknochen zwei und drei sowie gegebenenfalls auch vier nach Weil durchgeführt. Nach dem Hautschnitt wird zwischen den Strecksehnen auf den Mittelfußknochen eingegangen, das Metatarsaleköpfchen mit einem Hohmann-Haken unterfahren und so während der Osteotomie geführt. Die Weil-Osteotomie erfolgte von distal-dorsal nach proximal-plantar. Das Metatarsaleköpfchen wurde nach proximal verschoben und mit einer Mini-Zugschraube (2,3mm) fixiert. Bei sehr kontrakten Verhältnissen und Luxation des Grundgelenkes wird die kurze Strecksehne reseziert und die lange gegebenenfalls z-förmig verlängert. Nach mehrfacher Spülung der Wunde und Einlegen einer Redondrainage folgt die Subkutannaht und intrakutane Hautnaht sowie das Anlegen eines sterilen Wattekompressionsverbandes mit zügelnder Bandagierung aller Zehen in die Korrekturrichtung.



Abb. 3-5 präoperative Röntgenaufnahme



Abb. 3-6 Röntgenaufnahme sechs Wochen nach der Operation. Zusätzlich zur Operation am 1. Strahl wurden drei Weil Osteotomien und eine weichteilige Plantarisierung des Digitus quintus superductus durchgeführt



Abb. 3-7 Fotoaufnahme sechs Wochen postoperativ. Der Vorfuß ist noch deutlich geschwollen. Die Zehen stehen regelrecht und im Vergleich zur präoperativen Situation ist der Vorfuß deutlich schmaler



Abb. 3-8 Aufnahme eines operierten Fußes vier Jahre nach der Operation

3.2.2 Nachbehandlung

Postoperativ wurde den Patienten empfohlen, den Fuß am Tag der Operation nicht zu belasten. Anschließend wurden die Patienten zwei Tage lang mit Vorfuß-Entlastungsschuh und Gehstützen mobilisiert. Nach diesen zwei Tagen dürfen die Patientin im Vorfuß-Entlastungsschuh zunehmend nach Toleranz voll belasten. Der Patient sollte möglichst nicht abrollen. Der Entlastungsschuh wurde für sechs Wochen belassen. Nach sechs Wochen folgten eine Röntgenkontrolle und in der Regel die Belastung im breiten Normalschuh. Bei der obligatorischen Krankengymnastik wurde darauf geachtet, dass das Großzehengrundgelenk in die Extension mobilisiert wird und die Langzehengrundgelenke in die Flexion mobilisiert werden. Nach sechs Wochen fand zusätzlich Gangschulung und Koordinationstraining statt.

Eine Entfernung des Titanimplantats wurde nur bei Problemen durchgeführt.

3.3 Nachuntersuchung

3.3.1 Klinische Untersuchung

Alle Patientinnen wurden vom Autor postoperativ befragt und klinisch untersucht. Die Untersuchung umfasste folgende Teile:

- 1.) Befragung zum postoperativen Verlauf, zu Beschwerden und speziell zu Metatarsalgien oder Ballenschmerzen
- 2.) Prüfung der passiven Beweglichkeit des Metatarsophalangealgelenkes und des Interphalangealgelenkes.
- 3.) Dokumentation der Rezidive von Hallux-valgus-Fehlstellungen
- 4.) Dokumentation von ausgeprägten Bewegungseinschränkungen und Hornhautbildungen.
- 5.) Dokumentation von postoperativen Dislokationen im Osteotomiebereich

Sämtliche prä- und postoperative Befunde, sowie Angaben zu Alter des Patienten, Operationsdatum und Begleitoperationen wurden systematisch registriert.

Mittels eines Fragenkatalogs wurde von den Patienten schriftlich erhoben

- 1.) ob Sie mit dem Operationsergebnis zufrieden seien
- 2.) wie sie die kosmetische Erscheinung ihres Fußes beurteilen
- 3.) ob es nach der Operation Komplikation gab, wenn ja welche
- 4.) wie alt sie waren, als die Hallux valgus Symptomatik begann und
- 5.) ob sie sich noch einmal für diese Operation entscheiden würden.

In dem ihnen zugesandten Brief wurde den Patienten auch versichert, dass nur der Autor dieser Arbeit und nicht der Operateur den Antwortbogen einsieht und auswertet.

Über die klinische Untersuchung und Anamnese hinaus wurden die Patienten postoperativ nach dem von der *American Orthopaedic Foot and Ankle Society* (A.O.F.A.S.) entwickelten Score für Vorfußoperationen beurteilt [41] (siehe Abbildung 1 im Anhang). Dieser Score ist speziell geschaffen worden für die Beurteilung des ersten Metatarsale, MTP-Gelenk, proximale und distale Phalanx bei Hallux valgus. In diesem Hallux-Metatarsophalangeal-Interphalangeal-Score der A.O.F.A.S. werden maximal 100 Punkte vergeben, die in verschiedenen Bereichen verteilt werden: Schmerzen (40 Punkte), Einschränkungen bei Belastbarkeit, Schuhwerk und Beweglichkeit (45 Punkte), Stellung der Großzehe (15 Punkte) (siehe Anhang). Ein Ergebnis von 100 Punkten bedeutet keine Schmerzen, keine Einschränkung von Alltag- oder Freizeitaktivitäten, keine Einschränkung bei der Wahl des Schuhwerks, volle Beweglichkeit im MTP- und IP-Gelenk und gute Stellung der Großzehe. Die Messung des Bewegungsumfanges des ersten MTP-Gelenkes wurde gemessen, indem der eine Arm des Goniometers parallel zur Achse des Hallux und der andere Arm des Goniometers parallel zur Achse des ersten Metatarsale platziert wurden. Anschließend wurde das MTP-Gelenk von der maximalen Extension zur maximalen Flexion bewegt [55]. An Coughlin [15] orientierend wurde das Ergebnis folgendermaßen eingeteilt:

- 90-100: exzellent
- 80-89 : gut
- 70-79 : ausreichend
- <70 : schlecht

Eine präoperative Bestimmung des A.O.F.A.S. Score war nicht möglich, da genaue Angaben zum Bewegungsumfang des MTP-Gelenkes und IP-Gelenkes nicht immer dokumentiert waren. Hier bietet sich das *forefoot scoring system (FFSS)* der *Mayo Clinic* an [43].

Dieses klinische Einteilungssystem kombiniert objektive und subjektive Daten wie folgt: Schmerzen (30 Punkte), Funktion (15 Punkte), Schuhwerk (10 Punkte), Schwielenbildung (10 Punkte), Stellung der Großzehe (5 Punkte) und schmerzhafte Gelenkbeweglichkeit (5 Punkte) mit einem Maximum von 75 erreichbaren Punkten (siehe Abbildung 2 im Anhang). An Calder et al. [9] orientierend wurde das Ergebnis folgendermaßen unterteilt:

- 70-75 : exzellent
- 60-70 : gut
- 50-60 : ausreichend
- <50 : schlecht

Anhand dieses Scores wurde die präoperative Ausgangslage mit dem postoperativen Ergebnis verglichen.

3.3.2 Radiologische Untersuchung

Von jeder Patientin, die an der Studie teilnahm, war eine präoperative Röntgenaufnahme vorhanden. Sechs Wochen nach der Operation wurde von jeder Patientin eine Röntgenaufnahme in der Praxis angefertigt (die Werte dieser Aufnahmen werden im Folgenden als postoperativ bezeichnet). Bei der follow-up Untersuchung wurde wiederum von jeder Patientin eine Röntgenaufnahme des Fußes gemacht (im Folgenden als Follow-up bezeichnet).

Röntgenaufnahmen des Fußes wurden im dorsoplantaren und lateralen Strahlengang angefertigt. Die präoperativen sowie die jüngsten Aufnahmen wurden unter Belastung gemacht, die direkt postoperativen Aufnahmen ohne Belastung. Da sich die Aufnahmetechnik der direkt postoperativen Bilder von der Aufnahmetechnik unter Belastung unterscheidet, dienten die Werte dieser Aufnahmen nur der Veranschaulichung des Verlaufes. Sie wurden aber nicht zur Beurteilung des Verlaufes verwendet und gingen außer zur Rezidivbestimmung nicht in die statistische Bewertung ein.

Alle Winkelmessungen wurden mit dem gleichen Protraktor und alle Längenmessungen mit dem gleichen Lineal durchgeführt.

Für die dorsoplantare Aufnahme wurde der Fuß auf die Röntgenkassette gestellt, welche flach auf dem Boden lag. Die Patientinnen wurden gebeten, den aufzunehmenden Fuß mit ihrem Gewicht voll zu belasten. Bei einem Film-Fokus-Abstand von 1,10 Meter wurde der Zentralstrahl senkrecht auf die Mitte des dritten Mittelfußknochens gerichtet. Zum Kontrastausgleich wurde ein Aluminiumkeilfilter verwendet.

Für die seitliche Aufnahme wurden die Patientinnen ebenfalls gebeten, den aufzunehmenden Fuß voll zu belasten. Hierfür stellten die Patientinnen den Fuß seitlich vor ein Rasterwandstativ auf ein Brettchen mit dem medialen Rand des Fußes zum Stativ. Das Brettchen lag auf einem Hocker. Die Röntgenkassette stand etwas tiefer, senkrecht auf dem Hocker, d.h. zwischen Fuß und Stativ. Somit war gewährleistet, dass die plantaren Weichteile vollständig abgebildet wurden. Der Unterschenkel des abzubildenden Fußes steht im rechten Winkel zum Fuß (=Neutralstellung) während der nicht abzubildende Fuß hochgehoben wurde. Bei der seitlichen Aufnahme war der Film-Fokus-Abstand ebenfalls 1,10 Meter und der Zentralstrahl war auf die Mitte des Fußes gerichtet.

3.3.2.1 Hallux-valgus-Winkel und Intermetatarsal-I/II-Winkel

Der Hallux valgus-Winkel (Abb. 3-9) wurde nach Piggott [58] und der Intermetatarsal-I/II-Winkel (Abb. 3-10) wurde nach der Richtlinie der *American Orthopaedic Foot and Ankle Society* [17] gemessen.

Der Hallux-valgus-Winkel (HV-Winkel) wird gebildet aus der Schafthalbierenden des Metatarsale I und einer Verbindungslinie zwischen den Mittelpunkten der proximalen und distalen Gelenkfläche der Zehengrundphalanx. Der Schnittpunkt dieser beiden Geraden bildet den Scheitel des Hallux-valgus-Winkels. Die Schafthalbierende des Metatarsale wird nach der Methode der *American Orthopaedic Foot and Ankle Society* gebildet: Es wird eine Linie in zwei Ebenen durch die Breite des Schaftes gezogen. Die Mittelpunkte dieser Linien werden miteinander verbunden und bilden so die Schafthalbierende des Metatarsale I. Der HV-Winkel wird nach Coughlin [14] in vier unterschiedliche Schweregrade eingeteilt:

- Normal: <math><15^\circ</math>
- Mild: $15-20^\circ$
- Moderat: $20-40^\circ$
- Schwer: $>40^\circ$

Der Intermetatarsal-I/II-Winkel (IM-Winkel) wird gebildet aus der Schafthalbierenden des Metatarsale I und der Schafthalbierenden des Metatarsale II. Der Schnittpunkt dieser beiden Geraden bildet den Scheitel des Intermetatarsal-I/II-Winkels (Normwert <math><9^\circ</math>).



Abb. 3-9 Hallux valgus-Winkel



Abb. 3-10 Intermetatarsal-I/II-Winkel

3.3.2.2 Distaler-Metatarsale-Gelenkflächen-Winkel (DMAA)

Der Distale-Metatarsale-Gelenkflächen-Winkel (engl. DMAA, distal-metatarsale-articulation-angle) wird auch proximaler Gelenkflächenwinkel genannt. Er definiert im dorsoplantaren Strahlengang das Verhältnis der distalen Gelenkfläche des Metatarsale I zur Längsachse des Metatarsale I.

Er wird nach Richardson et al. [62] zwischen der Gelenkflächenlage und der Senkrechten zur Schafthalbierenden des Metatarsale I bestimmt. Der Schnittpunkt zwischen der Senkrechten zur Schafthalbierenden und der Verbindungslinie der Gelenkflächenenden bildet den Scheitel des DMAA (Abb. 3-11). Als präoperativer Referenzpunkt für das mediale Ende der metatarsalen Gelenkfläche dient die von Richardson et al. [62] beschriebene laterale Grenze des *sagittal groove*. Zur Bestimmung des lateralen Ende der metatarsalen Gelenkfläche bei subluxiertem MTP-Gelenk wurde der Abstand zwischen dem medialen Ende der Grundphalanx und der lateralen Grenze des *sagittal groove* in Millimetern gemessen. Dieser Abstand wurde genutzt, um den lateralen Überhang der Grundphalanx zu bestimmen. Ein Punkt wurde auf dem Metatarsale-I-Köpfchen eingezeichnet, der nach medial genau diesen Abstand zur Basis der Grundphalanx hatte (Normalwert des DMAA [62]: $6,1^\circ$).



Abb. 3-11
Distaler-Metatarsale-Gelenkflächen-Winkel
nach Richardson et al. [62]

3.3.2.3 Sesambeinposition nach Appel

Auf den prä- und postoperativ angefertigten dorso-plantaren Röntgenaufnahmen wurde gemäß der Klassifikation der Sesambeinlage nach Appel et al. [3] die Lage der Sesambeine in Bezug auf das erste Mittelfußköpfchen bestimmt.

Je nach Ausmaß der „Lateralisierung“ der Sesambeine – oder, wenn man den ursächlichen pathogenetischen Mechanismus (siehe hierzu Abschnitt 1.4) zugrunde legt, besser der Medialisierung des ersten Mittelfußköpfchens aus dem Sesambeinkomplex – werden sieben Klassen unterschieden: 0/0, 1/0, 1/1, 2/1, 2/2, 2/3 und 3/3. Die erste Ziffer bezieht sich dabei auf das laterale, die zweite auf das mediale Sesambein.

Wie in Abb. 3-12 verdeutlicht, dient prä- und postoperativ die zur Messung oben genannter Winkel eingezeichnete Schafthalbierende als Bezugslinie für das mediale Sesambein. Eine parallel dazu, tangential an die Corticalis der Lateralseite des Köpfchen gelegte Linie stellt die Bezugslinie für das laterale Sesambein dar.

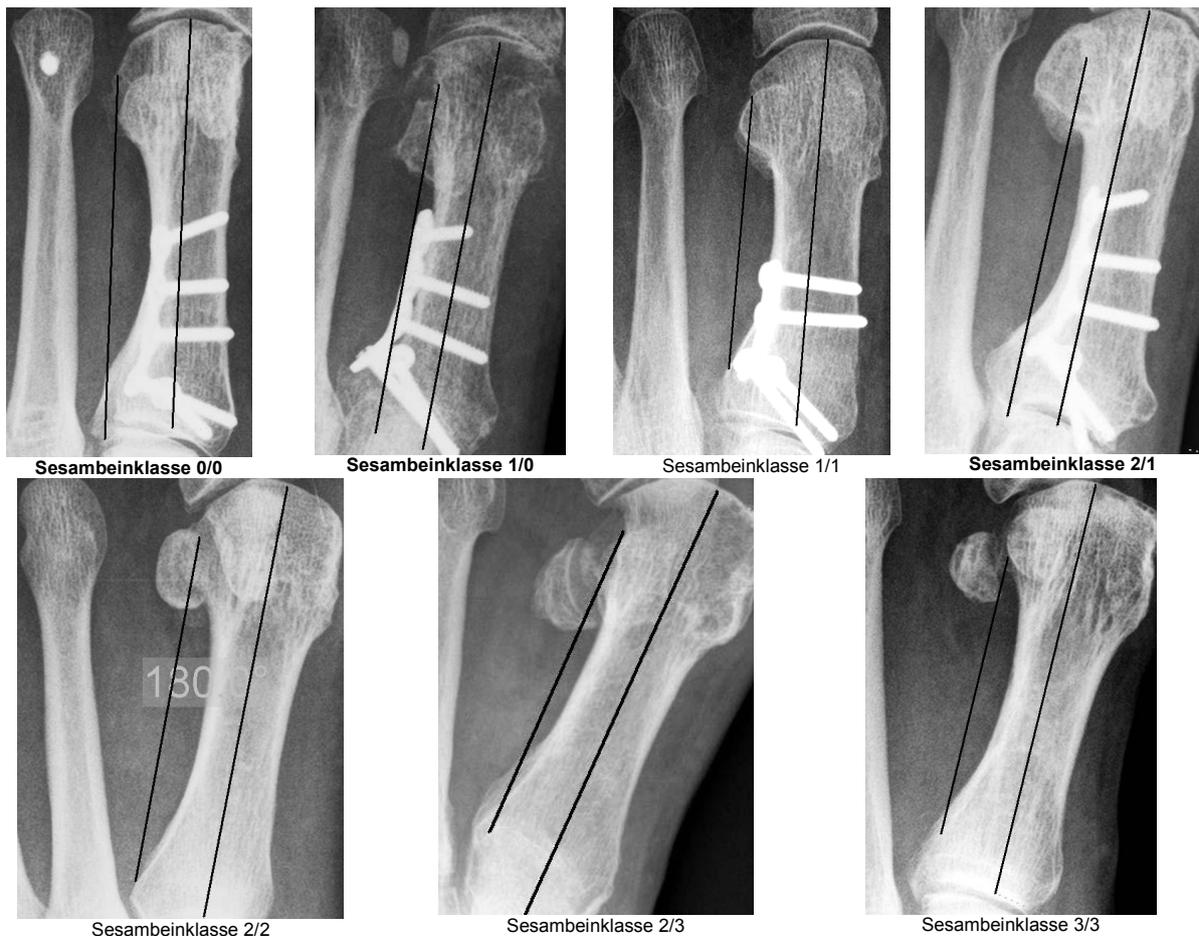


Abb. 3-12
Sesambeinlage nach der Klassifikation von Appel et al. [3]

Eine regelrechte Lage beider Sesambeine wird nach Appel et al.[3] mit 0/0 bezeichnet. Übertragt das laterale Sesambein seine Bezugslinie um weniger als die Hälfte seiner Breite, so liegt die Klasse 1/0 vor, übertragt zusätzlich das mediale Sesambein seine Bezugslinie um weniger als die Hälfte seiner Breite, so wird dieser Befund als Klasse 1/1 eingestuft. Bei allen drei Kombinationen ist das Köpfchen des ersten Metatarsale sicher nicht aus dem Sesambeinkomplex luxiert.

Übertragen laterales bzw. laterales und mediales Sesambein die äußere bzw. die äußere und innere Bezugslinie um mehr als die Hälfte ihrer Breite, so liegt eine Klasse 2/1 bzw. 2/2 nach Appel et al. [3] vor. In beiden Fällen ist eine Luxation des ersten Mittelfußköpfchens aus dem Sesambeinkomplex möglich, aber unwahrscheinlich.

Wie die Abb. 3-12 weiter zeigt, übertragt das laterale Sesambein bei der Klasse 2/3 seine Bezugslinie um mehr als die Hälfte seiner Breite, während das mediale Sesambein schon gänzlich jenseits seiner Bezugslinie zu liegen kommt, also an der Stelle, an der sich bei normalen anatomischen Verhältnissen das laterale Sesambein befindet. Die Klasse 3/3 ist dadurch gekennzeichnet, dass beide Sesambeine in ihrer ganzen Breite jenseits ihrer Bezugslinie liegen. Bei den Klassen 2/3 und 3/3 ist eine Luxation des Metatarsoseseamoidgelenkes sicher.

3.3.2.4 Kongruenz bzw. Inkongruenz des Metatarsophalangeal-Gelenkes

Die Beurteilung der Kongruenz bzw. Inkongruenz nach Piggott [58] wird ermittelt, indem man die Begrenzungen der Gelenkflächen jeweils miteinander verbindet und somit zwei Linien erhält, die bei einem kongruenten Gelenk (Abb. 3-13) parallel zueinander stehen. Bei einem inkongruenten Gelenk (Abb. 3-14) kreuzen sich die Linien außerhalb des Gelenkes, bei einem subluxierten Gelenk (Abb. 3-15), welches eine Progression des inkongruenten Gelenkes darstellt, kreuzen sich die Linien näher am Gelenk bzw. innerhalb des Gelenkes. Statt wie von Piggott vorgeschlagen, die Abweichung der Gelenkflächen in drei Stufen einzuteilen, wurde in dieser Studie bei inkongruenten bzw. subluxierten MTP-Gelenk das Ausmaß der Abweichung in Grad angegeben.



Abb. 3-13
Kongruentes Gelenk



Abb. 3-14
Inkongruentes Gelenk
Einteilung nach Piggott [58]



Abb. 3-15
Subluxiertes Gelenk

Die Kongruenz des Gelenkes wurde zusätzlich zur Subluxation gemessen, da erstens eine Kongruenzabweichung früher in Erscheinung tritt, als eine Subluxation und da zusätzlich getestet werden sollte, ob zwischen DMAA und Kongruenz bzw. Inkongruenz ein Zusammenhang besteht.

3.3.2.5 Laterale und mediale Subluxation des Metatarsophalangeal-Gelenkes

Es wurde die Verschiebung der Grundphalanx der Großzehe im Metatarsophalangeal-Gelenk nach lateral bzw. nach medial gemessen. Als Bezugspunkte wurden die Randpunkte der jeweils übereinander stehenden Gelenkflächen genommen und der Abstand in Millimeter gemessen. Bei Lateralisierung der Großzehengrundphalanx wurde ein positives Vorzeichen (+) verwendet, bei Medialisierung ein negatives (-).

Als präoperativer Referenzpunkt für die mediale Begrenzung der metatarsalen Gelenkfläche dient die von Richardson et al. [62] beschriebene laterale Grenze des *sagittal groove*. Durch diesen Punkt verläuft ebenfalls die in Kap. 3.3.2.2 beschriebene Verbindungslinie der Gelenkflächenenden. Das mediale Ende der Gelenkfläche der Grundphalanx wurde senkrecht mit der Verbindungslinie verbunden. Der Schnittpunkt dieser beiden Linien diente als zweiter Referenzpunkt. Der Abstand der beiden Referenzpunkte wurde gemessen (Abb. 3-16).



Abb. 3-16 Subluxation des MTP-Gelenkes; die weiße Linie entspricht der Subluxation

Postoperativ wurde der zweite Referenzpunkt beibehalten. Der erste Referenzpunkt wurde, falls möglich ebenfalls beibehalten. Falls dies nicht möglich war, da bei der Operation die Exostose soweit lateral abgetragen wurde, diente als neuer Referenzpunkt die mediale Begrenzung des ersten Mittelfußköpfchens. Die Subluxation wird nach Smith et al. [73] in drei Grade eingeteilt:

Grad 0: keine Subluxation

Grad 1: Subluxation < 2 mm

Grad 2: Subluxation > 2 mm

3.3.2.6 Metatarsalprotrusion

Durch den Metatarsalindex wird das relative Längenverhältnis von Metatarsale I und Metatarsale II bestimmt (Abb. 3-17). Die Metatarsalprotrusion ist der Längenunterschied der beiden Metatarsalia in Millimeter.

Anhand der von Morton [52] entwickelten Methode wurde der Abstand zwischen zwei, an den Mittelfußköpfchen I und II liegenden Tangenten gemessen. Diese Tangenten wurden senkrecht zur Schafthalbierenden des zweiten Metatarsale eingezeichnet. Ist der erste Mittelfußknochen relativ länger, als der zweite Mittelfußknochen spricht man von einer Index-plus-Variante, ist er kürzer von einer Index-minus-Variante. Sind beide Metatarsalia gleich lang, spricht man von einer Index-plus-minus-Variante. Obwohl diese Messmethode durch Veränderungen im IMW beeinflusst wird, erschien sie uns dennoch am sinnvollsten, da zum einen auf allen Röntgenaufnahmen die nötigen Referenzpunkte vorhanden waren und zum anderen mit dieser Methode auch der funktionellen Verkürzung – z.B. durch Vergrößerung des IMW – Rechnung getragen wird. Bei der Bestimmung zum Metatarsalindex wurde auch der Längenunterschied zwischen Metatarsale I und II sowie die absolute Länge des Metatarsale I in Millimetern gemessen.



Abb. 3-17 Metatarsalindex nach Morton [52]

3.3.2.7 Distanz zwischen Metatarsale I und Metatarsale II

Zwischen Metatarsale I und Metatarsale II wurde der Abstand in Millimeter gemessen. Hierzu wurde auf der Schafthalbierenden des Metatarsale I im Abstand von einem Zentimeter proximal der Gelenkfläche des Köpfchens eine Markierung gesetzt. Durch diese Markierung wurde eine Gerade gelegt, die Senkrecht zur Schafthalbierenden des Metatarsale II lag. Der Abstand zwischen den Schnittpunkten dieser Geraden mit den Schafthalbierenden der Metatarsalia I und II wurde als Distanz zwischen Metatarsale I und Metatarsale II gemessen. Diese Meßmethode wurde vom Untersucher entwickelt und nicht der Literatur entnommen (Abb. 3-18). Bei kleinem Intermetatarsale-I/II-Winkel und langem Metatarsale-I-Knochen, täuscht der Winkel eine bessere Situation vor, als es dem Gesamtbild entspricht. Umgekehrt erscheint die Deformität bei einem kurzen und breiten Metatarsale I und großen Intermetatarsale-I/II-Winkel gravierender, als bei der Operation vorhanden. Hier empfiehlt sich die Messung der Distanz zwischen diesen beiden Knochen als zusätzliches Kriterium zur Differenzierung.

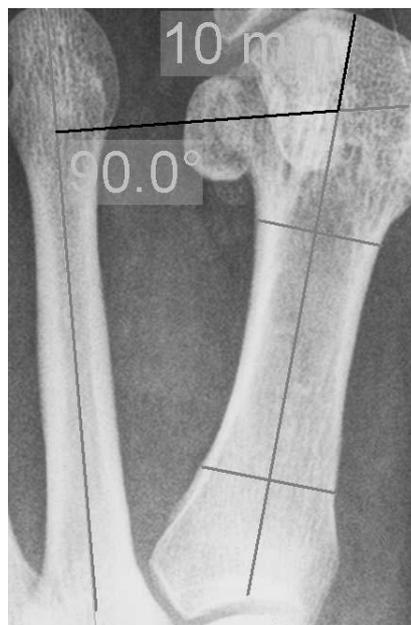


Abb. 3-18
Distanz zwischen MT I und MT II

3.3.2.8 Medialer Längsgewölbe-Winkel

Der mediale Längsgewölbe-Winkel wird in der seitlichen Röntgenaufnahme des Fußes nach Eustace et al. [20] gebildet aus der Schafthalbierenden des Metatarsale I (eine Linie

durch die Mitte der proximalen und distalen Gelenkfläche des Metatarsale I) und der Auftrittsfläche, d.h. einer ebenen Unterlage (Normalwert: 20°-24° [20]).



Abb. 3-19 medialer Längsgewölbe-Winkel

3.3.2.9 Hallux-valgus-interphalangeus-Winkel (HVI-Winkel)

Der HVI-Winkel bestimmt die laterale Abweichung des Großzehenendglieds im Bezug zum Grundglied. Die Achsen zur Messung des Winkels werden im dorsoplantaren Strahlengang wie folgt bestimmt:

Achse 1 ist die Senkrechte zur Verbindung der proximalen Gelenkflächenenden der Grundphalanx (s. Kap. 3.3.2.4). Zur Bestimmung der Achse 2 wird die Mitte der Endphalanxbasis mit der Mitte der proximalen Gelenkfläche des Grundglieds verbunden. Der Schnittpunkt dieser beiden Achsen bildet den Scheitel des HVI-Winkels (Abb. 3-20).

Diese Messmethode wurde nicht der Literatur entnommen. Sie wurde angewendet, da sie dem Verlauf und der Zugrichtung der langen Beuge- bzw. Strecksehne, welche an der Basis des Großzehenendglieds ansetzt, Rechnung trägt.



Abb. 3-20
Messung des HVI-Winkels

3.3.2.10 Messung der Vorfußbreite

Die Vorfußbreite wurde nach Helal et al. [28] im dorsoplantaren Strahlengang untersucht. Hierzu wurde die größtmögliche Distanz zwischen den Köpfchen des Metatarsale I und des Metatarsale V gemessen (Abb. 3-21).



Abb. 3-21
Messung der Vorfußbreite

Ein Problem im Umgang mit Röntgenaufnahmen ist die Vergrößerung bzw. die Verkleinerung der Objekte. Auch bei standardisierter Röntgenaufnahmetechnik lässt sich eine Verzerrung nicht ausschließen. Um bei Längenmessungen (dies sind: Distanz zwischen Metatarsale I und II in Kapitel 4.2.8 sowie Vorfußbreite in Kapitel 4.2.11) den Fehler möglichst klein zu halten, wurde mithilfe der Länge der dritten Grundphalanx eine Umrechnungsformel erstellt:

$$\text{Länge (x) präoperativ} = \frac{\text{Messung (x) präoperativ} \times \text{Grundphalanx postoperativ}}{\text{Grundphalanx präoperativ}}$$

3.3.2.11 Degenerative Veränderungen des Metatarsophalangeal-Gelenk

Die Einteilung der Degenerativen Veränderungen am MTP-Gelenk erfolgte nach Mann et al. [50]. Er unterscheidet vier unterschiedliche Arthrose Grade.

- Grad 0: Normal

- Grad I: Sklerosierung
- Grad II: Verschmälerung des Gelenkspaltes
- Grad III: Osteophyten - und Zystenbildung
- Grad IV: Verlust des Gelenkspaltes



Abb. 3-22 Arthrose Grad I



Abb. 3-23 Arthrose Grad II



Abb. 3-24 Arthrose Grad III



Abb. 3-25 Arthrose Grad IV

3.4 Statistische Auswertung

Die Daten wurden zunächst deskriptiv analysiert und bzgl. fehlerhafter Eingaben wie z.B. Extremwerte und Ausreißer untersucht. Mittelwerte und Standardabweichungen wurden für quantitative Merkmale berechnet, außerdem die Spannweiten (Min und Max-Werte) angegeben. Für kategoriale Daten wurden die absoluten Häufigkeiten tabelliert und die entsprechende Anteilswerte (relative Häufigkeiten) berechnet. Um Häufigkeiten von kategorialen Merkmalsausprägungen graphisch zu illustrieren wurden Balkendiagramme verwendet.

Der χ^2 – Test wurde verwendet um bivariate Assoziationen zwischen kategorialen Merkmalen zu prüfen. Der Exakte-Test von Fisher kam zum Einsatz, wenn die asymptotischen Voraussetzungen für diesen Test nicht erfüllt waren.

Um zwei Untersuchungsgruppen hinsichtlich der Verteilung eines quantitativen Merkmals zu vergleichen wurden Mittelwertvergleiche mit Hilfe des zwei-Stichproben t-Tests bzw. bei nicht normalverteilten Merkmalen mittels des Mann-Whitney-U Tests vorgenommen. Um individuelle Änderungen metrischer Merkmale zu prüfen kam der t-Test für verbundene Stichproben bzw. der Wilcoxon-Test als nicht parametrische Alternative zur Anwendung.

Um Gruppenunterschiede bzgl. kontinuierlicher Merkmale graphisch zu veranschaulichen wurden sowohl Box-Plots als auch Fehlerbalkendiagramme gefertigt.

Korrelationen zwischen zwei metrischen Merkmalen wurde mit Hilfe der Korrelationskoeffizienten von Pearson bzw. Spearman bei nicht gegebener Normalverteilung quantifiziert. Zur Illustration bivariater Zusammenhänge wurden zusätzlich Streudiagramme verwendet.

Um Verteilungsunterschiede metrischer Merkmale zwischen mehr als 2 Vergleichsgruppen zu untersuchen, wurde die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) verwendet. Ergaben sich dabei signifikante Unterschiede in den Merkmalsverteilungen wurden weiterführend Bonferroni-Post-Hoc Tests für die einzelnen Paarvergleiche vorgenommen.

Lineare Regressionsmodelle wurden berechnet um univariate und multiple Einflüsse verschiedener Merkmale auf quantitative metrische Zielgrößen zu analysieren.

Alle statistischen Auswertungen erfolgen zu einem zweiseitigen Signifikanzniveau von 5%. Die Auswertungen wurden mit SPSS Version 14 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) und Microsoft Office Excel 2003 (Microsoft, Tedmond, WA) vorgenommen.

Der Empfehlung von Kilmartin [40] folgend, wurde die Intraobserver-Reliabilität der Messungen des HV-Winkels, des IM-Winkels und des DMAA geprüft. Hierzu wurden zehn Röntgenbilder gewählt und dem Untersucher in zufälliger Reihenfolge vorgelegt. Auf diesen Röntgenbildern maß der Untersucher die oben genannten Winkel. Das gleiche Procedere wurde vier Stunden später mit den gleichen Röntgenbildern wiederholt wobei der Untersucher die Messungen, die er zuvor durchgeführt hatte, nicht erkennen konnte. Die Intra-Class-Correlationcoefficients (ICC) liegen alle über 0.90 - d.h. man kann von einer validen Reliabilität ausgehen.

4 Ergebnisse

4.1 Klinische Analyse

Die Angaben zur Befragung der Patienten beziehen sich auf 66 Frauen, die nach der unter 3.1 beschriebener Stichprobenauswahl untersucht wurden. Die Ergebnisse der klinischen und radiologischen Untersuchung beziehen sich auf 86 Füße, die bei diesen 66 Frauen operiert wurden.

4.1.1 Erkrankungsbeginn

Bei 22,7% der Patientinnen (n=15) begann die Abweichung der Großzehe noch vor dem 21. Lebensjahr. Anschließend blieb die Inzidenz bis zum 50. Lebensjahr im Studienkollektiv relativ konstant. Im Alter von über 50 Jahren erkrankten 36% (n=24) der Patientinnen.

4.1.2 Schmerzen

Präoperativ hatten gemäß dem A.O.F.A.S.-Score subjektiv 12,1% der Patientinnen (n=8) leichte, gelegentliche Schmerzen, 25,8% (n=17) tägliche, mäßige Schmerzen und 62,1% (n=41) starke Schmerzen. Der mediale, entzündete Schleimbeutel (Bursitis) war präoperativ bei 76% der Patientinnen Hauptursache der Schmerzen. Die Metatarsalgie war präoperativ bei 8% der Patientinnen alleinige Ursache der Schmerzen. Eine Kombination der Metatarsalgie mit Schmerzen im MTP-Gelenk sowie Schmerzen im MTP-Gelenk alleine wurden selten (jeweils zwei Patientinnen) als Hauptursache der Schmerzen angegeben. Die Kombination aus den drei Lokalisationen (MTP-Gelenk, Mittelfußköpfchen und Bursitis) war bei sieben Patientinnen (10%) vorhanden.

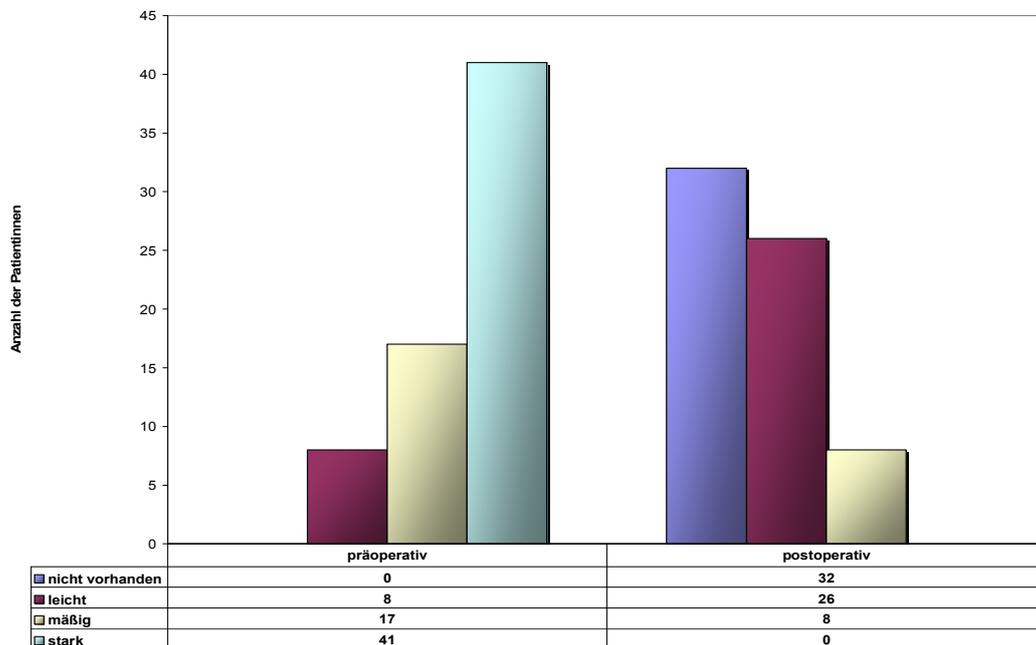
48,5 % der Patientinnen (n=32) gaben im Rahmen der Nachuntersuchung vollständige Beschwerdefreiheit an, 39,4% (n=26) hatten leichte, gelegentliche Schmerzen. Lediglich acht Patientinnen (12,1%) berichteten über tägliche, mäßige Schmerzen. Keine Patientin klagte über starke Schmerzen.

Die allgemeine Verbesserung der Schmerzen durch die Operation ist signifikant ($p < 0.001$) (siehe Tab. 4-1).

Bei einer Patientin verschlechterte sich die Symptomatik. Vor der Operation gab sie an, leichte, gelegentliche Schmerzen zu haben und bei der Nachuntersuchung 39 Monate später berichtete sie über tägliche, mäßige Schmerzen (siehe Kapitel 5).

Tab. 4-1 Aufteilung der Schmerzen im direkten Vergleich von praeoperativer zu postoperativer Situation

			Schmerzen postoperativ			Gesamt
			Mäßig	Leicht	n.v.	
Schmerzen präoperativ	Stark	Anzahl	6	17	18	41
		% von Schmerzen präop.	14,6%	41,5%	43,9%	100,0%
		% von Schmerzen postop.	75,0%	65,4%	56,3%	62,1%
	Mäßig	Anzahl	1	8	8	17
		% von Schmerzen präop.	5,9%	52,9%	41,2%	100,0%
		% von Schmerzen postop.	12,5%	30,8%	25,0%	25,8%
	Leicht	Anzahl	1	1	6	8
		% von Schmerzen präop.	12,5%	25,0%	62,5%	100,0%
		% von Schmerzen postop.	12,5%	3,8%	18,7%	12,1%
Gesamt		Anzahl	8	26	32	66
		% von Schmerzen präop.	12,1%	39,4%	48,5%	100,0%
		% von Schmerzen postop.	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%



Graphik 4-1 Anzahl der Patientinnen mit Schmerzsymptomatik prä- vs. postoperativ

Zur Beurteilung der Metatarsalgie wurde das Patientenkollektiv in zwei Gruppen aufgeteilt (siehe auch Graphik 4-2):

1. 46 Patientinnen (50 Füße) ohne zusätzliche Operation der übrigen Mittelfußknochen (Weil-Osteotomie)

2. 20 Patientinnen (36 FüÙe) mit Weil-Osteotomie

Zu Gruppe 1:

Präoperativ klagten 11 Patientinnen (13 FüÙe) über leichte Beschwerden unter den Mittelfußköpfchen. Postoperativ klagten 10 Patientinnen (11 FüÙe) über leichte bis mittelschwere Beschwerden in diesem Bereich. Bei 7 FüÙen entstand die Metatarsalgie postoperativ, bei 9 FüÙen wurde die Metatarsalgie durch die Operation beseitigt.

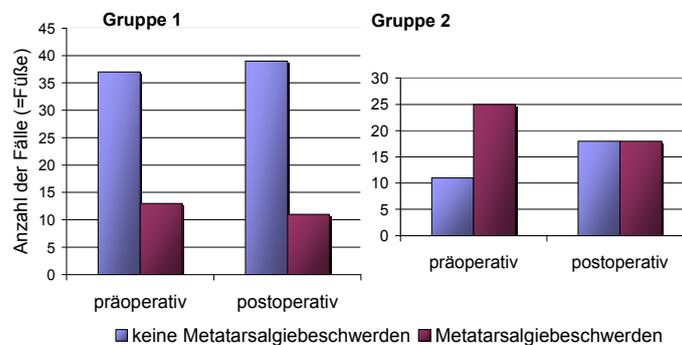
Zu Gruppe 2:

13 Patientinnen (25 FüÙe) gaben an, präoperativ unter einer Metatarsalgie gelitten zu haben. Bei 9 dieser Patientinnen (11 FüÙe) konnte die Metatarsalgie durch die kombinierte Operation (closed wedge Basisosteotomie + Weil-Osteotomie) beseitigt werden. 7 Patientinnen (11 FüÙe) der 2. Gruppe gaben zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung an, dass sie präoperativ keine Schmerzen unter den Mittelfußköpfchen hatten. Da bei diesen Patientinnen eine Weil-Osteotomie durchgeführt wurde, ist anzunehmen, dass die Patientinnen bei der präoperativen Untersuchung Metatarsalgiebeschwerden angaben, sich aber postoperativ nicht mehr an diese Beschwerden erinnern konnten. Zwei dieser Patientinnen (4 FüÙe) berichteten, dass die Metatarsalgie postoperativ zunahm bzw. entstanden ist.

Tab. 4-2 gibt einen Überblick der Metatarsalgieentwicklung.

Tab. 4-2 Metatarsalgie prä- und postoperativ

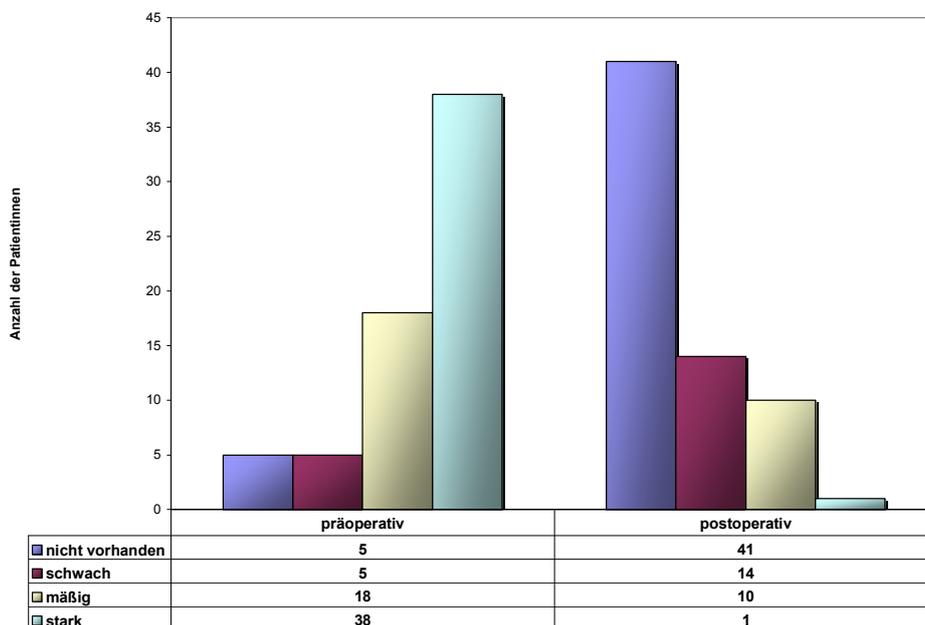
			Metatarsalgie post		Gesamt
			ja	Nein	
Metatarsalgie prae	ja	Anzahl	18	20	38
		% von Metatarsalgie prae	47,4%	52,6%	100,0%
	nein	Anzahl	11	37	48
		% von Metatarsalgie prae	22,9%	77,1%	100,0%
Gesamt		Anzahl	29	57	86
			100,0%	100,0%	100,0%



Graphik 4-2 Metatarsalgiebeschwerden prä- und postoperativ. Gruppe 1: Patienten ohne Weil-OT. Gruppe 2: Patienten mit Weil-OT

4.1.3 Aktivitätsbeeinträchtigung

Präoperativ waren gemäß dem A.O.F.A.S.-Score bei 58% der Patientinnen (n=38) starke Aktivitätsbeeinträchtigungen vorhanden, bei 27% (n=18) leichte Beeinträchtigungen sowohl im Freizeitbereich als auch im Alltag, bei 9% der Patientinnen (n=5) führten die Beschwerden zu Beeinträchtigungen nur im Freizeitbereich und ebenfalls 9% der Patientinnen (n=5) gaben an, dass präoperativ keine Aktivitätsbeeinträchtigung vorhanden war (siehe Graphik 4-3). Keinerlei Aktivitätsbeeinträchtigung zeigte sich postoperativ bei 41 Patientinnen (62%), während bei 14 Patientinnen (21%) Einschränkungen für bestimmte Tätigkeiten im Freizeitbereich, insbesondere bei Sportarten mit Sprung- und Druckbelastungen (Tennis, Skifahren) oder auch beim Laufsport vorlagen. Bei 15% der Patientinnen (n=10) lagen sowohl im Freizeitbereich als auch im beruflichen Alltag – meistens durch längeres Stehen, beispielsweise als Verkäuferin – leichte Einschränkungen vor. Starke Aktivitätsbeeinträchtigungen wurden von einer Patientin (1%) angegeben. Die Beseitigung der Funktionsbeeinträchtigung durch die Operation war signifikant ($p < 0.001$).

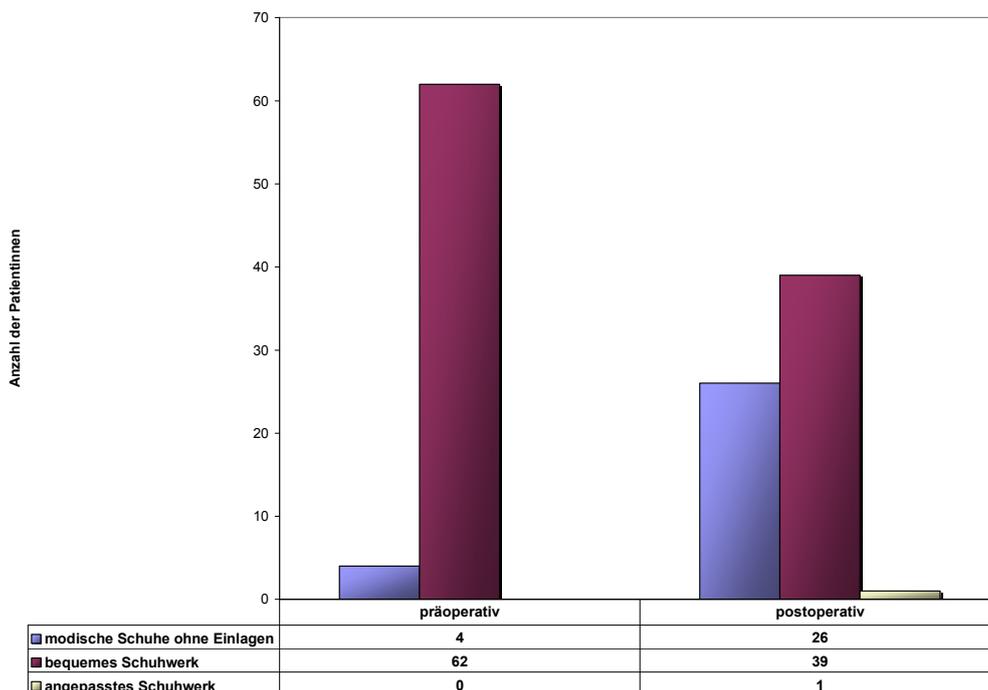


Graphik 4-3 Funktionsbeeinträchtigung prä- und postoperativ

4.1.4 Schuhwerk

Im direkten Vergleich der prä- und postoperativen Schuhgewohnheiten fiel gemäß dem A.O.F.A.S.-Score eine signifikante ($p < 0.001$) Veränderung der postoperativen Schuhwahl in Richtung modisch, konventionellen Schuh auf.

Präoperativ bevorzugtes Schuhwerk war bei vier Patientinnen (6%) der modisch, konventionelle Schuh ohne eine Einlagenversorgung, 94% der Patientinnen trugen nach eigener Aussage hauptsächlich weites, bequemes Schuhwerk – in 47 Fällen auch mit Einlagen. Es wurde kein Fall notiert, bei dem präoperativ orthopädisch angepasste Schuhe benötigt wurden. Postoperativ wechselte eine Patientin von modisch, konventionellen Schuhen zu orthopädisch angepassten Schuhen und eine andere, die beidseits operiert wurde, vom modischen Schuh ohne Einlagen zum bequemen Schuh mit Einlagen. Die restlichen zwei Patientinnen, die präoperativ modische Schuhe getragen hatten, konnten diese auch nach der Operation tragen. Von den 62 Patientinnen, die präoperativ bequeme Schuhe bevorzugten, wechselten 24 (36%) zu modisch, konventionellen Schuhen und 58% der Patientinnen ($n=38$) behielten die Schuhwahl bei (siehe Graphik 4-4).



Graphik 4-4 Schuhwahl prä- und postoperativ

4.1.5 Beweglichkeit

Eine Patientin (1%) wies postoperativ im Bereich des Großzehengrundgelenkes einen Bewegungsumfang von über 75° auf, in 68 Fällen (79%) lag der Bewegungsumfang

zwischen 30 und 74°. Eine schwere Einschränkung gemäß AOFAS-Score (unter 30° Restbeweglichkeit) fand sich bei 17 Füßen (20%). Von den 17 Patientinnen, die eine schwere Bewegungseinschränkung hatten, gaben fünf an, dass sie keine Gelenksteife verspüren, zehn bemerkten eine Bewegungseinschränkung, die sie aber nicht störe. Nur zwei der 17 Patienten mit klinisch schwerer Bewegungseinschränkung gaben auch an, dass sie die Gelenksteife störe. Der durchschnittliche Bewegungsumfang zum Follow-up betrug 42,9°. Dieser Wert liegt unterhalb des physiologischen Bewegungsumfanges, der ca. 75 bis 130° beträgt.

Teilt man die Füße bezüglich des Bewegungsumfanges in vier ca. gleichgroße Gruppen auf und vergleicht diese Gruppe hinsichtlich der Ausprägung der durchschnittlichen Gelenkdegeneration (Einteilung siehe Abschnitt 3.3.2.11) ergeben sich signifikante Zusammenhänge.

- I. Gruppe: Bewegungsumfang < 35° (n = 21)
- II. Gruppe: Bewegungsumfang zwischen 35° und 44° (n = 25)
- III. Gruppe: Bewegungsumfang zwischen 45° und 54° (n = 22)
- IV. Gruppe: Bewegungsumfang > 55° (n = 18)

Der durchschnittlichen Grad der Gelenkdegeneration in Gruppe I war 2,9, in Gruppe II war er 2,3, in Gruppe III 1,8 und in der Gruppe IV war er 2,1. Der Grad der Gelenkdegeneration war in Gruppe I signifikant höher, als in Gruppe III und Gruppe IV ($p < 0,005$). Das bedeutet, dass eine Einschränkung des Bewegungsumfanges häufig begleitet wird von degenerativen Veränderungen des Gelenkes. Die Konsequenz dieses Zusammenhangs wird in Kapitel 6 diskutiert.

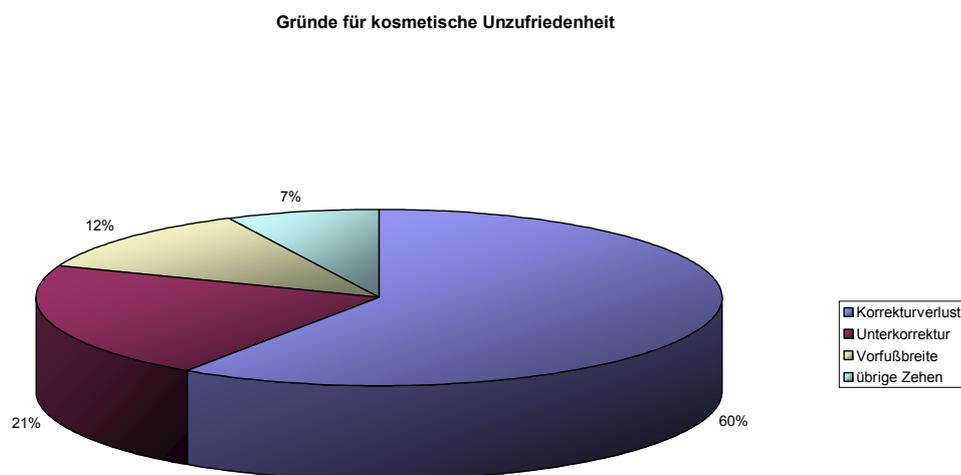
4.1.6 Ausrichtung der Großzehe und Kosmetik des Fußes

Über die kosmetische Erscheinung des Fußes vor der Operation waren gemäß dem A.O.F.A.S.-Score die Patientinnen in 91% (n=60) der Fälle nicht zufrieden, in 9% (n=6) der Fälle waren die Patientinnen noch größtenteils mit der Kosmetik des Fußes zufrieden. In 45% (n=39) der Fälle war eine kosmetisch gute Ausrichtung der Großzehe im Rahmen der Nachuntersuchung festzustellen. Eine mittelmäßige Abweichung, die jedoch keine Beschwerden verursachte, fand sich in 43% (n=37) der Fälle, während in 12% (n=10) der Fälle eine schlechte und symptomatische Fehlausrichtung der Großzehe bestand. Dies bedeutet, dass der HV-Winkel deutlich vergrößert war ($> 15^\circ$) und die Patientinnen über Schmerzen im Bereich der Großzehe berichteten.

Auf die Frage nach der Beurteilung des kosmetischen Ergebnisses antworteten 50% der Patientinnen (n=33) mit dem Ergebnis sehr zufrieden zu sein. 44% der Patientinnen (n=29) der Fälle waren mit dem Ergebnis größtenteils zufrieden und 6% der Patientinnen (n=4)

beurteilten das Ergebnis als nicht zufrieden stellend. Von den 50% (n=33) der Patientinnen, die mit der kosmetischen Erscheinung ihres Fußes nicht sehr zufrieden waren, war in 60% (n=20) der Fälle der Korrekturverlust (d.h. ein erneutes Abweichen der Großzehe nach lateral) die Ursache. In 21% (n=7) der Fälle beklagten sich die Patientinnen über eine Unterkorrektur und in 12% (n=4) der Fälle über eine zu große Vorfußbreite. In 7% (n=2) der Fälle wurden Fehlstellungen der übrigen Zehen (z.B. Krallenzehen) als Ursache angegeben (siehe Graphik 4-5).

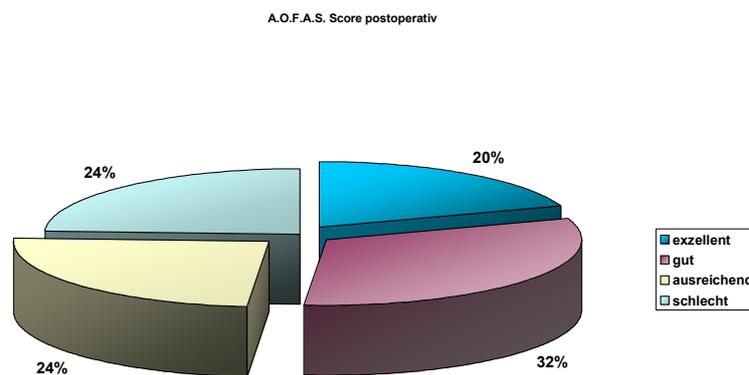
Die Veränderung der Beurteilung der Kosmetik des Fußes durch die Operation war signifikant ($p < 0.001$).



Graphik 4-5 Es wurden hauptsächlich vier Ursachen für eine nicht zufriedenstellende kosmetische Erscheinung des Fußes gefunden: Korrekturverlust, Unterkorrektur, Vorfußbreite und Fehlstellung der übrigen Zehen

4.1.7 Ergebnis im A.O.F.A.S Score

Basierend auf dem AOFAS-Score wurden von den 66 Patientinnen von 100 erreichbaren Punkten eine durchschnittliche Punktzahl von 78 (\pm 12,2 SD) Punkten erreicht. Damit wurde in 52% (34 Patientinnen) ein exzellentes bzw. gutes klinisches Operationsergebnis erreicht. In 24% (16 Patientinnen) war das Ergebnis ausreichend und ebenfalls in 24% im Sinne des AOFAS-Scores schlecht (siehe Graphik 4-6).



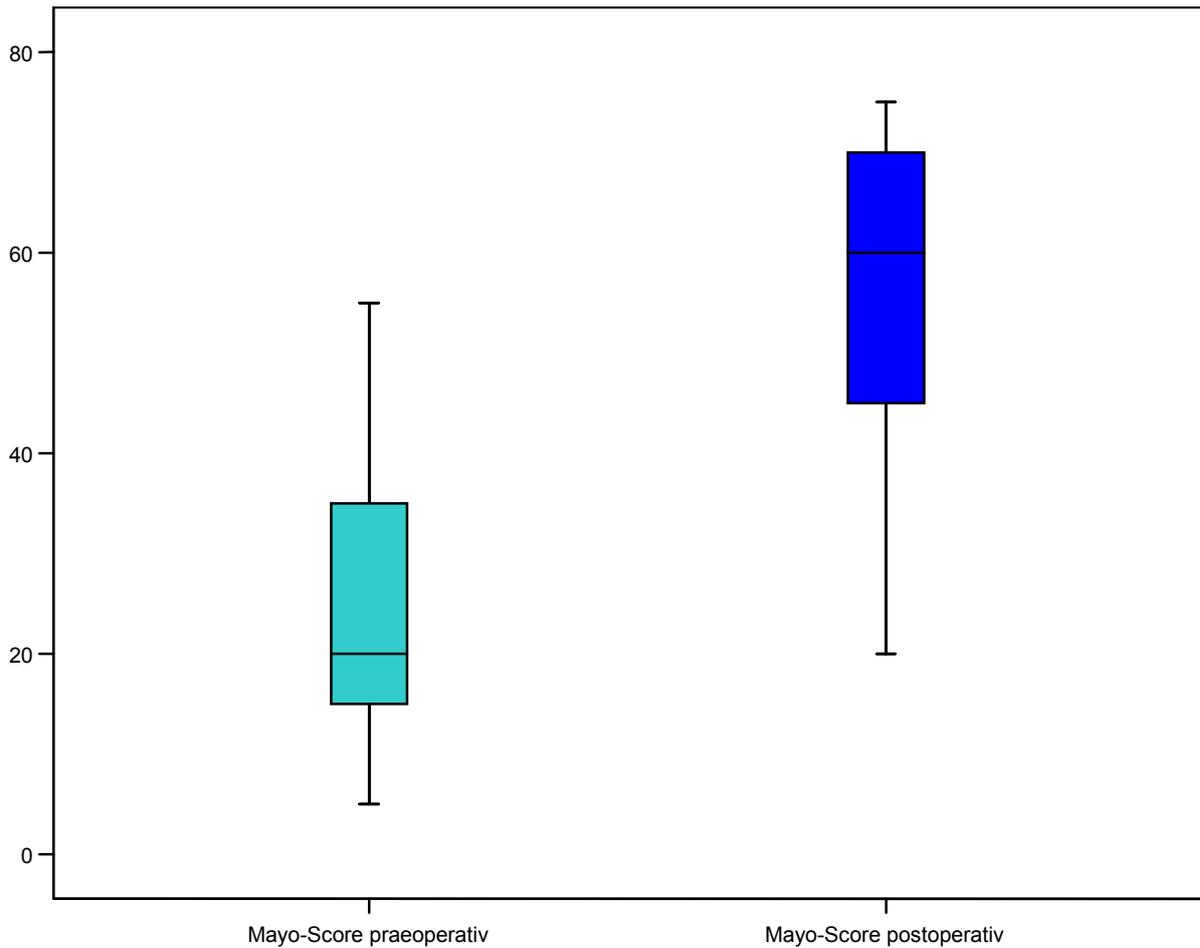
Graphik 4-6 A.O.F.A.S. Score postoperativ

4.1.8 Ergebnis im Mayo-Clinic-Forefoot-Score

Präoperativ betrug die durchschnittliche Punktzahl 23,0 (\pm 12,4 SD) Punkte. Drei der 66 Patientinnen (4,5%) hatten Werte zwischen 50 – 60 Punkten. Der Rest (95,5%) hatte Werte unter 50 Punkten.

Die durchschnittliche postoperative Punktzahl im 75 Punkte-Score der Mayo-Clinic war 57,2 (\pm 16,0 SD) Punkte. 22 Patientinnen (33%) erreichten exzellente Ergebnisse, 18 Patientinnen (27%) erreichten gute Ergebnisse, 9 Patientinnen (14%) ausreichende und 17 Patientinnen (26%) schlechte Ergebnisse.

Der Unterschied von 34,17 Punkten zwischen präoperativem und postoperativem Ergebnis war statistisch signifikant ($p < 0.001$). In der Graphik 4-7 sind die Ergebnisse anhand von Boxplots dargestellt.

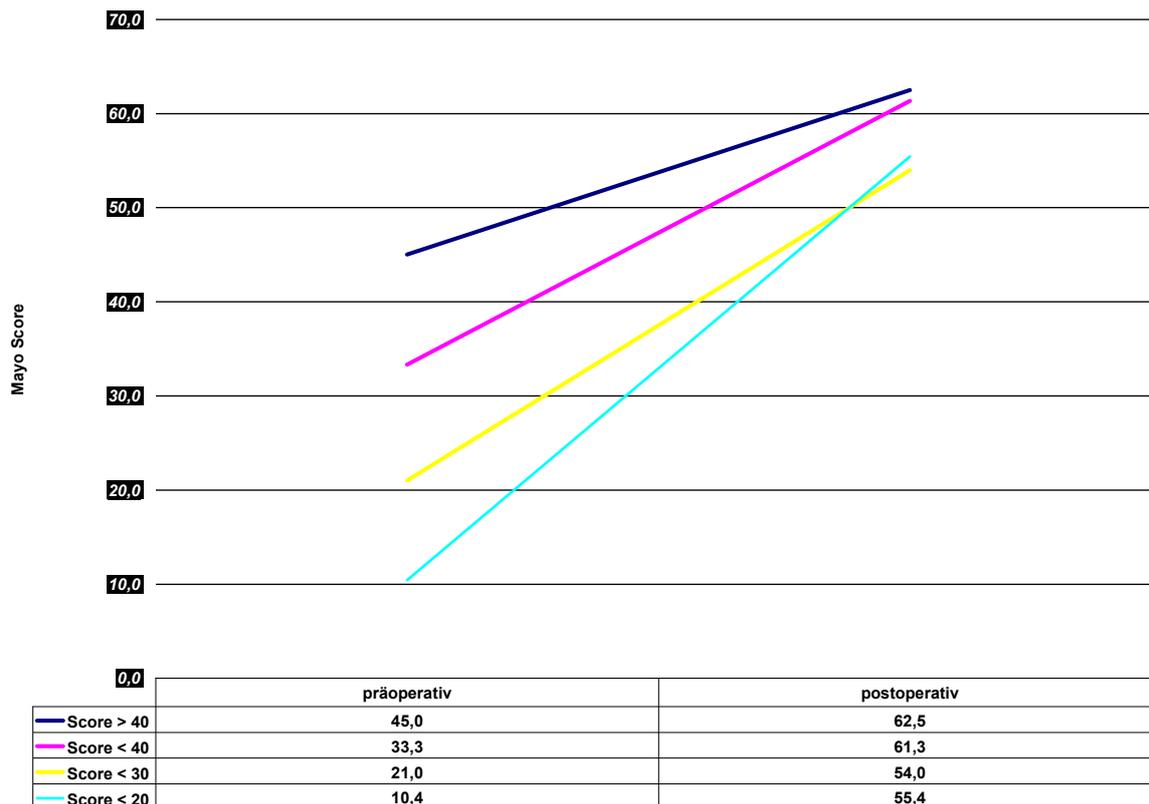


Graphik 4-7 Ergebnisse des Mayo-Clinic-Forefoot-Scores prä- und postoperativ

Nach der in Abschnitt 3.3 vorgestellten Einteilung des Mayo-Scores hatten nur drei Patientinnen präoperativ einen ausreichenden Ausgangswert. Die restlichen 63 Patientinnen hatten einen schlechten Ausgangswert. Um eine genauere Analyse des Ergebnisses in Relation zum präoperativen Ausgangswert zu ermöglichen, wurden die Patientinnen anhand der präoperativen Ausgangswerte in folgende vier Gruppen eingeteilt:

- 1.) Score: ≥ 40 Punkte (8 Patientinnen)
- 2.) Score: $[30;40[$ Punkte (15 Patientinnen)
- 3.) Score: $[20;30[$ Punkte (20 Patientinnen)
- 4.) Score < 20 Punkte (23 Patientinnen)

Wie die Graphik 4-8 zeigt, wurde in der Gruppe 4 mit einer Differenz von 45 Punkten die größte Verbesserung erzielt. Der höchste absolute postoperative Wert wurde erwartungsgemäß von der Gruppe 1 erreicht.



Graphik 4-8 Veränderung des Mayo-Scores, dargestellt an vier Gruppen mit unterschiedlichen präoperativen Ausgangswerten

4.1.9 Zufriedenheit

Auf die Frage ob sie mit dem Ergebnis der Operation zufrieden seien, gaben 54,5% (n=36) der Patientinnen an sehr zufrieden und 41% (n=27) zufrieden zu sein. Lediglich 3 Patientinnen (4,5%) waren mit dem Ergebnis der Operation nicht zufrieden (s. Tab. 4-3).

Tab. 4-3 Auflistung wichtiger Parameter der drei Patientinnen, die mit der Operation nicht zufrieden waren

HVWprae	HVWfollow up	IMWprae	IMWfollow up	Sesambein prae	Sesambein follow up	AOFAS post
30	10	15	4	3/3	1/0	65
37	25	16	4	3/3	2/3	83
45	30	19	5	3/3	2/2	55

Für 61 Patientinnen (92%) wurde das Problem, das vor der Operation vorhanden war, gelöst. In fünf Fällen (8%) konnte das Problem nicht gelöst werden.

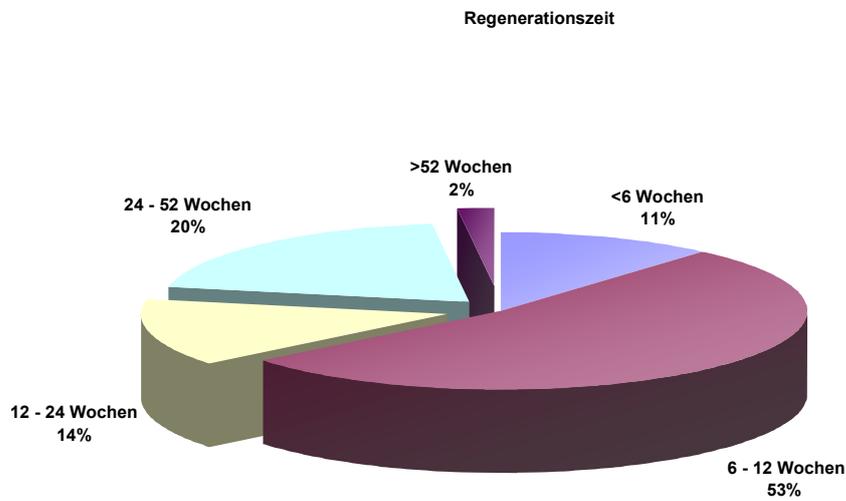
Dennoch würden sich 97% der Patientinnen (n=64) wieder für diese Operation entscheiden.

Nur in zwei Fällen (3%) wurde diese Frage verneint.

Die Zeitspanne der Regeneration war, wie Graphik 4-9 zeigt, individuell sehr verschieden.

Die Zeit, die beansprucht wurde, bis alltäglichen Tätigkeiten wieder beschwerdefrei ausgeübt werden konnten, betrug bei 53% sechs bis zwölf Wochen, bei 11% weniger als sechs

Wochen. Eine Patientin benötigte für die Regeneration mehr als ein Jahr, war aber dennoch mit dem Operationsergebnis zufrieden.



Graphik 4-9 Zeitspanne, die für die Regeneration beansprucht wurde. 64% der Patientinnen konnten nach sechs bis zwölf Wochen ihre alltäglichen Tätigkeiten wieder beschwerdefrei ausüben. Bei einer Patientin beanspruchte die Regeneration mehr als ein Jahr

4.2 Radiologische Befunde

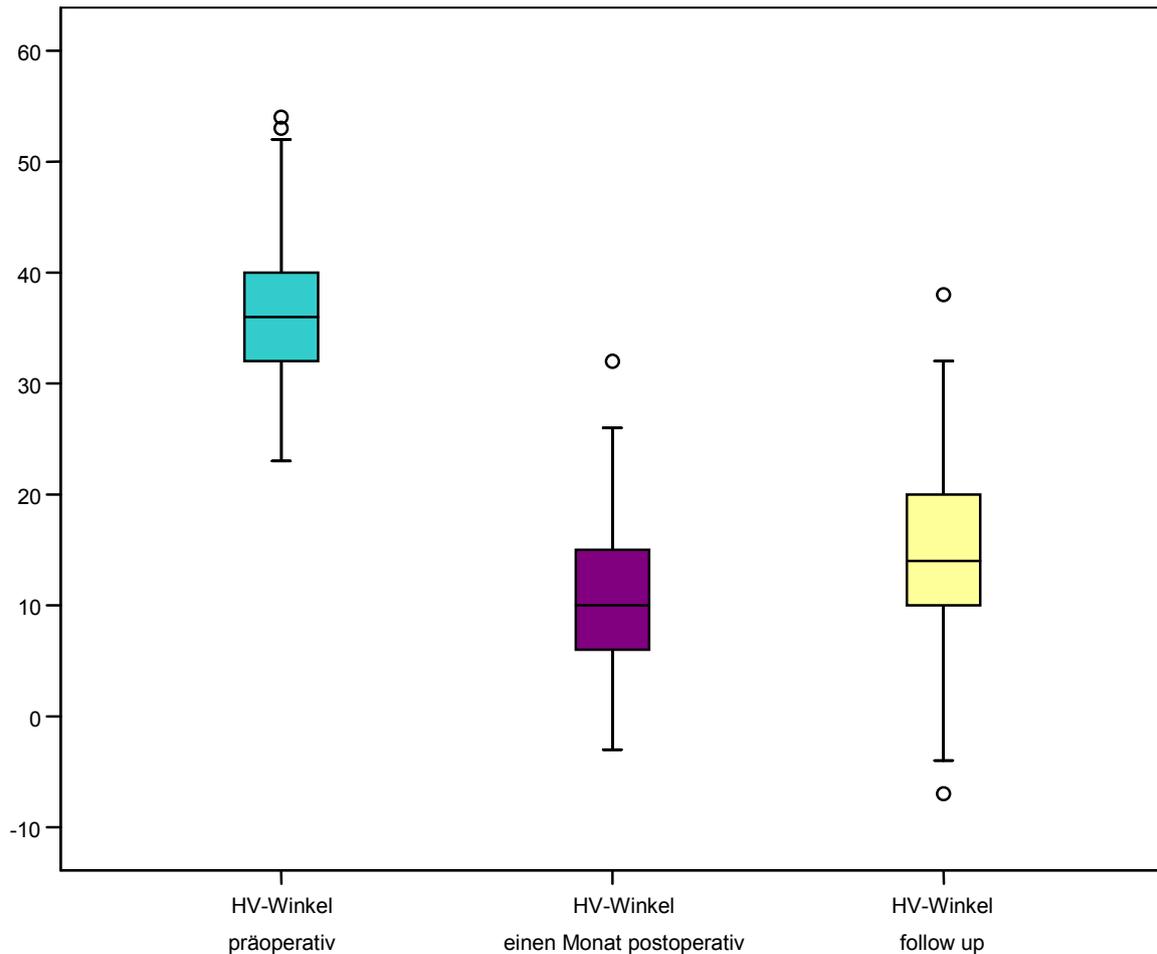
4.2.1 Hallux valgus-Winkel

Wie in Tab. 4-4 ersichtlich ist, konnte der durchschnittliche HVW im Mittel um $22,1^\circ$ von präoperativ $36,4^\circ$ SD $\pm 5,6^\circ$ auf $14,3^\circ$ SD $\pm 8,4^\circ$ zum Follow-up korrigiert werden. Diese Veränderung war hoch signifikant ($p < 0.001$). Es existiert eine signifikante Änderungen der HVW - Werte zwischen allen 3 Zeitpunkten (präoperativ, postoperativ und follow-up). Da 3 Tests bzgl. einer Fragestellung durchgeführt wurden, wurde eine Adjustierung des p-Wertes nach Bonferroni vorgenommen, das kritische Signifikanzniveau betrug demnach 0,0167 (so dass global 5% eingehalten werden). Die beobachteten Unterschiede waren auch auf diesem Niveau signifikant ($p < 0.001$). Der Verlauf der HVW-Werte wird in Graphik 4-10 anhand von Boxplots verdeutlicht.

In drei Fällen wurde ein negativer HV-Winkel gemessen, was einer Hallux varus Fehlstellung entspricht. Dabei war der größte negative Wert -7° (die übrigen -4°). Da keine der Patientinnen mit dem Ergebnis der Operation unzufrieden war, wurden die Werte in das Gesamtergebnis miteinbezogen.

Tab. 4-4 Deskriptive Statistik der Hallux-valgus-Winkelmessungen prä- und postoperativ sowie im Follow-up

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
HVW präoperativ	86	23	54	36,37	5,762
HVW postoperativ	86	-3	32	10,74	6,652
HVW follow up	86	-7	38	14,30	8,421



Graphik 4-10 Hallux valgus Winkel. Es zeigt sich eine deutliche Verbesserung des HV-Winkel ein Monat postoperativ. Zum Follow-up stieg der HV-Winkel wieder an

Präoperativ hatten die Patientinnen in 24% (n=21) der Fälle einen schweren Hallux valgus. Die übrigen Patientinnen (76%; 65 Fälle) hatten präoperativ einen moderaten Hallux valgus. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung zeigte sich in 56% (n=48) der Fälle ein HVW unter 15°, was einer normalen Hallux-Stellung entspricht. 19% (n=16) der Fälle hatten einen Winkel größer als 15° aber kleiner als 20°, was einer milden Hallux valgus Fehlstellung entspricht und bei 25% (n=22) der Fälle war noch eine moderate Hallux valgus Fehlstellung feststellbar.

Der Korrekturverlust des HV-Winkels (d.h. die Differenz zwischen Follow-up Werten und postoperativen Werten) betrug durchschnittlich 4,8°.

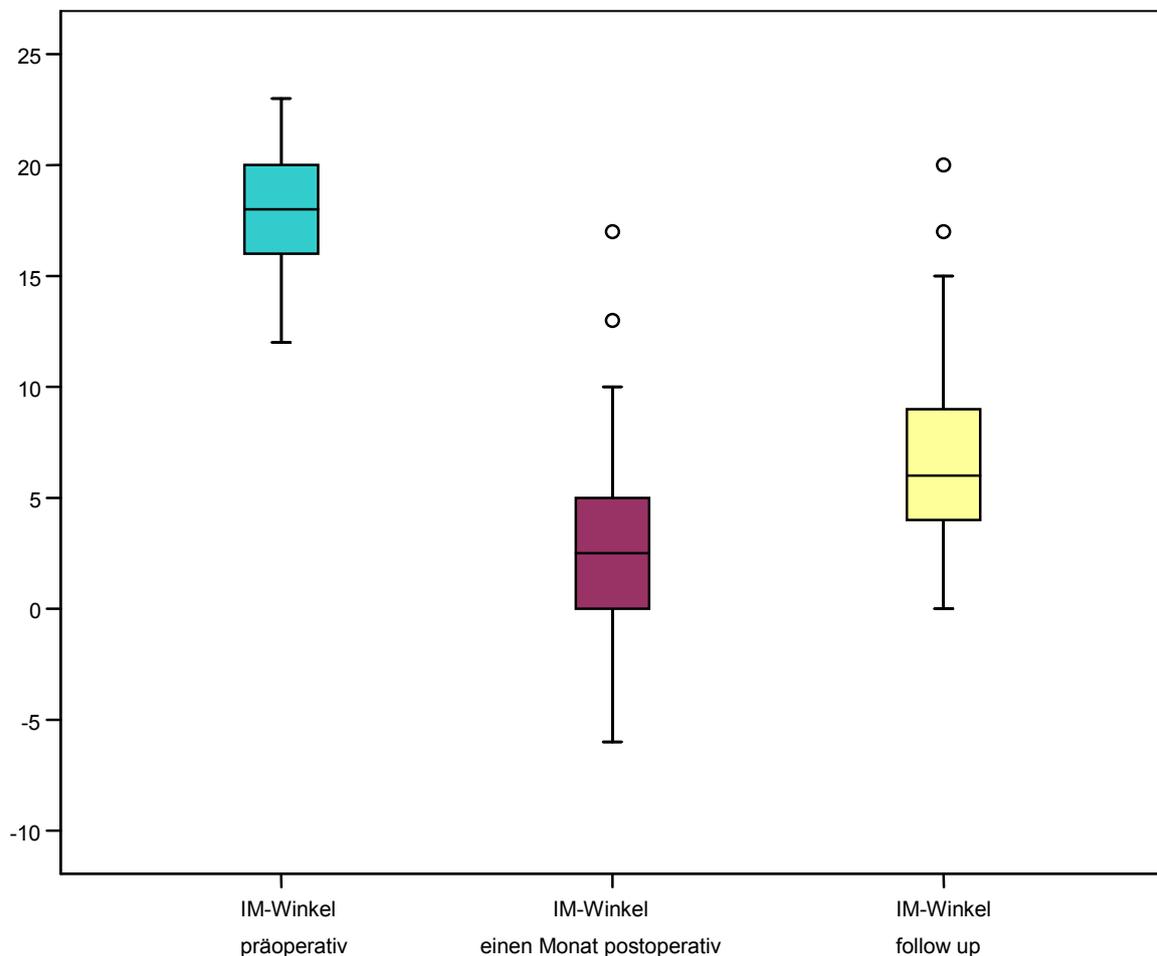
4.2.2 Intermetatarsal-I/II-Winkel

Der IMW wurde im Mittel von 17,6° ± 2,6° präoperativ auf 6,5° ± 3,9° reduziert, was einer Korrektur um durchschnittlich 11,1° entspricht (Tab. 4-5).

Es fand sich eine signifikante Änderung der IMW - Werte zwischen allen 3 Zeitpunkten (präoperativ, postoperativ und follow-up). Da 3 Tests bzgl. einer Fragestellung durchgeführt wurden, wurde auch hier wie in Kapitel 4.2.1 eine Adjustierung des p-Wertes nach Bonferroni vorgenommen. Die beobachteten Unterschiede sind ebenfalls auf diesem Niveau signifikant ($p < 0.001$).

Tab. 4-5 Deskriptive Statistik der Intermetatarsal-I/II-Winkelmessungen prä- und postoperativ sowie zum Follow-up

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
IMW präoperativ	86	12	23	17,63	2,599
IMW postoperativ	86	-6	17	2,72	3,624
IMW follow up	86	0	20	6,53	3,931



Graphik 4-11 Intermetatarsal Winkel. Es zeigt sich eine deutliche Verbesserung ein Monat postoperativ. Zum Follow-up stieg der IM-Winkel wieder leicht an

Die in Abschnitt 1.4 beschriebene Verbindung des HV Winkels und des IM-Winkels – zunehmende Wanderung des Metatarsale-I-Köpfchens nach medial und dadurch zunehmende Subluxation und Abwinklung der Großzehe nach lateral – legt es nahe, IMW

und HVW miteinander zu korrelieren. Für die bei der Nachuntersuchung gemessenen Winkel ergab sich ein Pearsonscher Korrelationskoeffizient von $r = +0,53$, welcher signifikant ($p < 0,001$) von Null verschieden ist. Hier kann also von einem direkt proportionalen Zusammenhang zwischen den beiden Variablen ausgegangen werden. Präoperativ ließ sich eine Korrelation von $r = +0,32$ ($p = 0,002$) feststellen.

Der Korrekturverlust des IM-Winkels (d.h. die Differenz zwischen Follow-up Werten und postoperativen Werten) betrug durchschnittlich $3,8^\circ$.

4.2.3 Distaler-Metatarsale-Gelenkflächen-Winkel

Der DMAA wurde bei allen präoperativen Röntgenbildern gemessen und betrug im Durchschnitt $14,4^\circ$ (Minimum 0° , Maximum 30° ; $[0^\circ; 30^\circ]$). In den 13 Fällen, bei denen das MTP-Gelenk geringgradig subluxiert war (Subluxation kleiner zwei Millimeter), betrug der durchschnittliche DMAA $17,2^\circ$ $[4^\circ; 30^\circ]$. In den restlichen 73 Fällen mit stärker subluxierten Gelenk (Subluxation größer als zwei Millimeter) wurde ein durchschnittlicher DMAA von $13,9^\circ$ $[0^\circ; 28^\circ]$ gemessen.

Dies ergab eine durchschnittliche Differenz des DMAA von $3,3^\circ$ zwischen der Gruppe mit geringgradig subluxiertem Gelenk zu der Gruppe mit stark subluxiertem Gelenk. Im T-Test war diese Differenz nicht signifikant ($p = 0,13$).

Der DMAA wurde ebenfalls auf den Röntgenbildern gemessen, die zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung aufgenommen wurden. Diese Messungen ergaben einen Winkel von durchschnittlich $11,4^\circ$. Die Differenz des präoperativ gemessenen Winkels und des zum Follow-up gemessenen Winkels ergibt durchschnittlich 3° . Als Grund für diese Differenz kommen drei Aspekte in Frage:

1. Veränderung der Lage der Schaffthalbierenden aufgrund der Operation
2. Rotationsveränderungen des ersten Mittelfußknochen und eine somit veränderte Darstellung der Gelenkfläche
3. Messungengenauigkeit

Aufgrund der Überlegung, dass ein großer DMAA die Entstehung eines Hallux valgus begünstigt – siehe auch Kapitel 1.3.2.5 - wurde getestet, ob eine Vergrößerung des Hallux-valgus-Winkels nach der Operation in Verbindung mit dem DMAA steht.

Die Vergrößerung des HV-Winkels wurde über die Differenz zwischen postoperativer und follow up Aufnahme berechnet. Die hierfür verwendeten postoperativen Werte sind deshalb anwendbar, da nicht die absoluten Werte der Differenz, sondern die relativen Unterschiede der Differenzen gewertet werden. In dem vorliegenden Patientenkollektiv wurden bei einem

Mittelwert von 3,5° (± 5,4° SD) Differenzen des HV-Winkels von bis zu 14° gemessen. Die ebenfalls gemessenen negativen Differenzen sind durch Varusfehlstellung der Großzehe zum Follow-up erklärbar. Wurde nun zum Beispiel bei einer Patientin eine Vergrößerung des HV-Winkels von 4° auf 10° gemessen, wäre es aufgrund der unterschiedlichen Aufnahmetechniken (s. Kapitel 3.3.2) nicht richtig von einem Korrekturverlust von 6° zu sprechen. Wurde bei einer zweiten Patientin eine Differenz von 1° gemessen, so ist jedoch die Aussage zulässig, dass bei der ersten Patientin die Veränderung des HV-Winkels (=Korrekturverlust) größer war als bei der zweiten Patientin. Anhand dieser Überlegung können Gründe für den Korrekturverlust gesucht werden.

Wie der Tab. 4-6 zu entnehmen ist besteht zwischen dem Korrekturverlust und dem DMAA eine signifikante Korrelation ($r = 0,402$). Dies bedeutet, dass ein großer DMAA eher mit einem Korrekturverlust verbunden ist, als ein kleiner DMAA.

Tab. 4-6 Zwischen dem Korrekturverlust und dem DMAA (distaler metatarsaler Gelenkflächenwinkel) besteht eine signifikante Korrelation ($r=0,402$)

		DMAA Follow-up
Differenz (HVW follow up - HVW postop)	Korrelation nach Pearson	0,402*
	Signifikanz (2-seitig)	,002
	N	86

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

Die Bedeutung des DMAA für die Stellung der Gelenkflächen wird in Kapitel 4.2.5 erläutert.

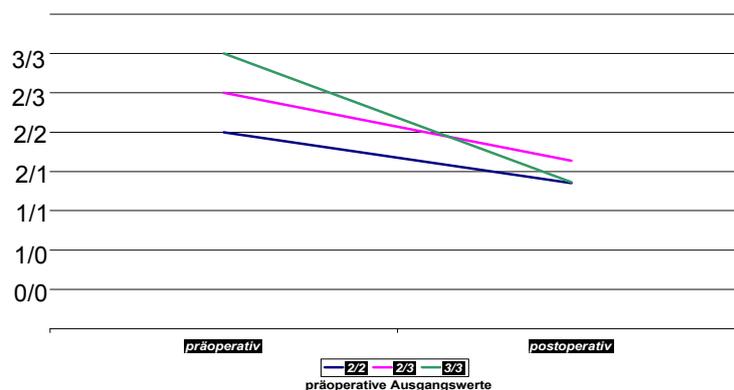
4.2.4 Lage der Sesambeine

Anhand der vor der Operation angefertigten Röntgenaufnahmen wurde die Lage der Sesambeine bei keiner Patientin als 0/0 bis 2/1 (s. Kapitel 3.3.2.3) eingestuft. In 20% der Fälle wurde die Lage als 2/2 (Luxation möglich aber unwahrscheinlich) und in 80% der Fälle als 2/3 oder 3/3 (sichere Luxation des Köpfchens) klassifiziert (siehe Graphik 4-13). Die Lage der Sesambeine reichte von 2/2 bis 3/3, mit einem Median bei Klasse 3/3.

Nach der Operation wurde im Follow-up die Sesambeinlage in 50% (n=43) der Fälle in die niedrigen und in 40% (n=34) in die mittleren Klassen eingestuft. Eine sichere Luxation im Metatarsosesamoidgelenk wurde noch in 10% (n=9) der Fälle festgestellt. Wie die Graphik 4-13 weiter zeigt, hatten die Patientinnen nach der Operation Sesambeinlagen von 0/0 bis 3/3, der Median liegt bei 2/1.

Einen Monat postoperativ waren die Ergebnisse noch besser (siehe Graphik 4-13).

In den 86 Fällen wurde die Sesambeinlage durch die Osteotomie um null bis sechs Klassen, Median drei Klassen, verbessert (s. Graphik 4-12). Diese Differenz zwischen präoperativen und follow-up Werten ist im T-Test signifikant ($p < 0.001$). Eine Verbesserung von einer hohen (2/3 oder 3/3) in eine mittlere Klasse (2/1 oder 2/2) wurde in 31% ($n=27$) der Fälle, eine Verbesserung von einer mittleren Klasse in eine niedrige Klasse (0/0, 1/0 oder 1/1) in 11% ($n=9$) der Fälle erreicht. In 40% ($n=34$) wurde die Lage der Sesambeine von einer hohen Klasse präoperativ in eine niedrige Klasse im Follow-up verbessert. Bei zwei Patientinnen (2%) verschlechterte sich die Lage von einer mittleren Klasse zu einer hohen Klasse. In den restlichen 14 Fällen (16%) blieb die Sesambeinlage unverändert.



Graphik 4-12 Verbesserung der Sesambeinposition durch die Operation. Präoperativ wurden ausschließlich Klassen von 2/2 (blau) bis 3/3 (gelb) gemessen

Es wurde getestet, welchen Einfluss die Sesambeinposition zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung auf das klinische Ergebnis (repräsentiert durch den AOFAS-Score) hat. Zwischen der Sesambeinposition und dem AOFAS-Score besteht eine negative Korrelation ($r = -0,23$), die aber nicht signifikant ist ($p = 0,04$). Das bedeutet, dass die berechnete Korrelation auch zufällig entstanden sein kann und man somit nicht davon ausgehen kann, dass eine ungünstige postoperative Sesambeinposition zu einem schlechten klinischen Ergebnis führt.

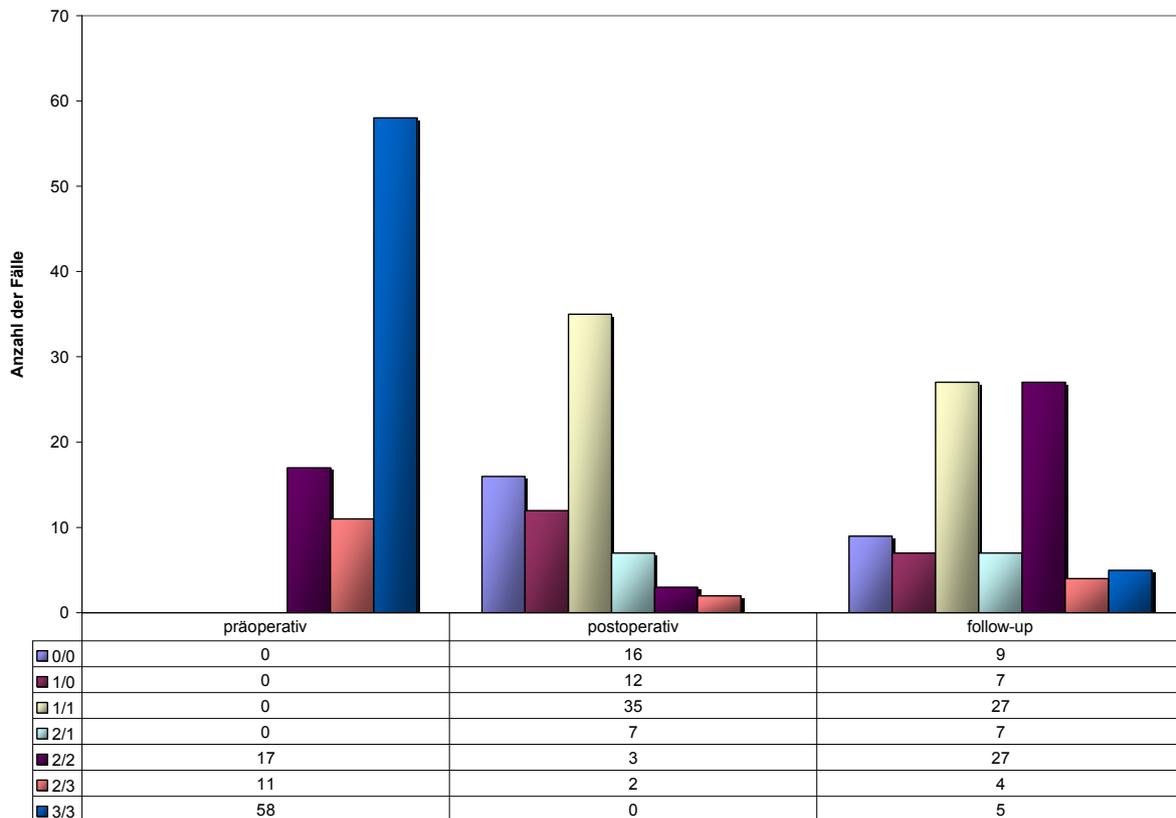
Dies bestätigt auch die Einteilung der Patientinnen in zwei Gruppen:

Gruppe 1: gute bis exzellente Ergebnisse (AOFAS >80)

Gruppe 2: schlechte bis mäßige Ergebnisse (AOFAS <80).

Diese beiden Gruppen unterscheiden sich hinsichtlich der Sesambeinposition nur minimal, wobei in der Gruppe mit schlechten bis mäßigen Ergebnissen die Klasse der Sesambeinlage im Durchschnitt um ein Drittel größer ist, als in der Gruppe mit guten bis exzellenten Ergebnissen. Auch hier fand sich im T-Test keine Signifikanz ($p = 0,32$).

Zwischen der Vergrößerung des HV-Winkels zwischen der postoperativen Aufnahme und der follow-up Aufnahme (= Korrekturverlust) und der postoperativen Sesambeinposition bestand keine signifikante Korrelation.



Graphik 4-13 Einteilung der Sesambeinlage wobei der Grad 0/0 einer normalen Sesambeinposition entspricht und der Grad 3/3 einer Luxation beider Sesambeine gleichzusetzen ist.

4.2.5 Kongruenz des Metatarsophalangeal-Gelenkes

Ein kongruent verlaufender Gelenkspalt des ersten Metatarsophalangeal-Gelenkes wurde vor der Operation lediglich bei einer Patientin (1%) festgestellt. Nach der Operation hatten immerhin 34% (n=29) einen kongruenten Gelenkspalt. Der durchschnittliche Inkongruenz-Winkel betrug vor der Operation 20° und bei der Nachuntersuchung 1°. Dies ergibt im T-Test einen signifikanten Unterschied der Gelenkflächenstellung ($p < 0,001$).

Zwischen der Stellung der Gelenkflächen und dem DMAA bestand vor der Operation eine negative Korrelation ($r = -0,403$) die signifikant war. Dies bedeutet, dass bei der Ausprägung eines Hallux valgus und bei einem größeren distalen Gelenkflächenwinkel eine kongruente Stellung der Gelenkflächen wahrscheinlicher ist. Umgekehrt heißt dies aber auch, dass ein normaler DMAA ($< 6^\circ$) im Falle eines Hallux valgus die inkongruente Stellung im MTP-Gelenk begünstigt.

Tab. 4-7 Korrelation zwischen präoperativem distalen Gelenkflächenwinkel und der präoperativen Kongruenz im MTP-Gelenk

			DMAAprae	Kongruenz prae op
Spearman-Rho	DMAAprae	Korrelationskoeffizient	1,000	-,403(**)
		Sig. (2-seitig)	.	,000
		N	86	86

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

4.2.6 Subluxation im ersten Metatarsophalangeal-Gelenk

Auf den präoperativ angefertigten Röntgenaufnahmen konnte in 82 Fällen (95%) eine Subluxation im ersten Metatarsophalangeal-Gelenk festgestellt werden. Von den 82 Fällen konnte die Subluxationsstellung in 56 Fällen (68%) korrigiert werden. Bei einer Patientin, die vor der Operation ein kongruentes Gelenk hatte, wurde bei der Nachuntersuchung eine Subluxation von zwei Millimeter festgestellt. Zur Nachuntersuchung lag somit noch in 27 Fällen eine Subluxation vor. Die durchschnittliche Subluxation betrug vor der Operation 4,5 mm (SD \pm 2,25 mm) und zur Nachuntersuchung bei den Patienten mit Subluxation 3 mm (SD \pm 1,18 mm).

4.2.7 Metatarsalprotrusion

Mit der in Abschnitt 3.3.2.6 beschriebenen Methode konnte die Verkürzung des Metatarsale I in 50 Fällen (58%) bestimmt werden. In 38 Fällen wurde die Verkürzung nicht gemessen, da hier zusätzlich noch eine Verkürzungsosteotomie nach Weil am Metatarsale II durchgeführt wurde. In 44 Fällen der messbaren Fälle (88%) wurde eine Verkürzung des ersten Mittelfußknochens zwischen 1mm und 11mm ermittelt. In drei Fällen (6%) wurde keine Veränderung der relativen Länge und in drei Fällen (6%) sogar eine funktionelle Verlängerung zwischen 1mm und 4 mm des ersten Mittelfußknochen registriert. Die gemessene Verlängerung ist dadurch zu erklären, dass – wie in Abschnitt 3.3.2.6 erläutert – die Verkleinerung des IMW eine funktionelle Verlängerung des ersten Mittelfußknochens bewirkt.

Durch die Verkürzung des ersten Metatarsale verringerte sich die Anzahl der Index-plus-Varianten von 16 Füßen (32%) präoperativ auf drei Füße (6%) postoperativ. Die Index-plus-minus-Variante sank ebenfalls von 14 (28%) auf 10 Füße (20%). Eine Index-minus-Variante wurde vor der Operation in 40% (n=20) der Fälle und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung in 74% (n=37) registriert. Die durchschnittliche Verkürzung bezogen auf alle 50 Metatarsalia I durch die Operation betrug 3,2 mm (SD 3,2mm). Diese funktionelle Verkürzung war im T-Test signifikant ($p < 0,001$).

Es wurde getestet, ob die Verkürzung des Metatarsale I zur Entstehung einer Metatarsalgie führt. Hierzu wurden die 50 Fälle, bei denen die Metatarsalprotrusion gemessen werden konnte, in zwei Gruppen aufgeteilt. Eine Gruppe mit postoperativer Metatarsalgie (n=11) und die andere Gruppe ohne Metatarsalgie (n=39). In der ersten Gruppe war die durchschnittliche Verkürzung des Metatarsale I 1,7 mm [1; 11mm] und in der zweiten Gruppe 3,6 mm [1; 11mm]. Die Werte zeigen, dass – entgegen der Annahme, dass eine Verkürzung des ersten Metatarsale die Metatarsalgiebeschwerden verstärkt bzw. generiert – in der Gruppe ohne Metatarsalgie die Verkürzung des ersten Metatarsale größer war, als in der Gruppe mit postoperativer Metatarsalgie. Die durchschnittliche Verkürzung der beiden Gruppen war im T-Test nicht signifikant unterschiedlich. Anhand dieser Werte lässt sich lediglich folgern, dass eine Verkürzung des Metatarsale I nicht zwangsläufig zur Entstehung einer Transfermetatarsalgie führt.

4.2.8 Distanz zwischen Metatarsale I und Metatarsale II

Die Distanz zwischen ersten und zweiten Mittelfußknochen betrug präoperativ im Mittel 32,6mm [21; 42mm]. Um Messfehler möglichst klein zu halten wurden die präoperativen Werte anhand der in Kapitel 3.3.2 angegebenen Formel berechnet.

Zur Nachuntersuchung lag im Mittel eine Distanz von 27,0mm [20; 36mm] vor. Es gab also eine durchschnittliche Verminderung der Distanz zwischen Metatarsale I und Metatarsale II von 5,6mm [0; 17mm]. Bei fünf Patientinnen (sechs Füße) wurde zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung eine Vergrößerung des Abstandes festgestellt. Die Vergrößerung betrug im Durchschnitt 2,8mm [1; 6mm].

Die Korrektur der Distanz zwischen Metatarsale I und II korrelierte signifikant ($p < 0,01$) mit der Korrektur des IM-Winkels mit $r = 0,49$.

Ebenfalls bestand eine signifikante Korrelation ($p < 0,01$) zwischen den follow-up Werten der Metatarsale-I/II-Distanz und den follow-up Werten des HV-Winkels. Dies lässt schließen, dass parallel mit der Vergrößerung der Metatarsale-I/II-Distanz der HV-Winkel zunimmt. Ob zuerst die Metatarsale-I/II-Distanz zunimmt oder der HV-Winkel ist nicht anhand der Daten erkennbar.

4.2.9 Medialer Längsgewölbe-Winkel

Da präoperativ eine nur sehr geringe Anzahl seitlicher Röntgenaufnahmen vorhanden war, wurde der mediale Längsgewölbe-Winkel ausschließlich an den Röntgenbildern gemessen, die bei der Nachuntersuchung angefertigt wurden. Daraus lässt sich folglich nicht ableiten, ob durch die Osteotomie eine Dorsalabkipfung des ersten Mittelfußknochens erzeugt wurde.

Was sich aber anhand der Daten testen lässt, ist ob ein kleiner Längsgewölbe-Winkel mit dem Vorliegen einer Metatarsalgie in Verbindung steht.

Bei den 18 Patientinnen (n=29; 33,7%), die postoperativ unter einer Metatarsalgie litten, betrug der mediale Längsgewölbe-Winkel im Durchschnitt 23,8°. Bei den restlichen 48 Patientinnen (n=57; 66,3%) war er im Durchschnitt 1,7° kleiner und betrug 22,1°. Im T-Test ergab sich ein p-Wert von 0,174, was darauf schließen lässt, dass die hier gemessene Differenz eher zufällig ist und das Entstehen der Metatarsalgie nicht durch einen großen medialen Längsgewölbe-Winkel erklärt werden kann. Der durchschnittliche mediale Längsgewölbe-Winkel bezogen auf alle 86 Füße betrug 22,7° ± 4,9°, was im Bereich der Normalwerte von 20-24° liegt.

4.2.10 Hallux-valgus-interphalangeus-Winkel

Der HVI-Winkel betrug zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung im Durchschnitt 4,5° (± 4,3° SD). Die Spanne der gemessenen Winkel reichte von -8° bis 13°.

In der Überlegung, dass ein großer HVI-Winkel, aufgrund des in Kapitel 1.4 genannten *bowstring effects* die Rezidivwahrscheinlichkeit erhöhen könnte, wurde getestet, ob eine Vergrößerung des Hallux-valgus-Winkels nach der Operation in Verbindung mit einem großen HVI-Winkel steht. Zwischen dem HVI-Winkel und dem Korrekturverlust konnte jedoch keine Korrelation nachgewiesen werden (r = 0,012).

4.2.11 Vorfußbreite

Der durchschnittliche Abstand zwischen dem Kopf des ersten und fünften Mittelfußknochens verringerte sich um 3,9mm von präoperativ 92,1mm (± 13,8mm SD) auf 88,2mm (±11,8mm SD) (s. Tab. 4-8)

Wie in Tab. 4-9 zu sehen ist, wurde die Signifikanz der Verschmälerung des Fußes durch die Operation im T-Test bewiesen (p<0,001).

Zur Berechnung der präoperativen Werte wurde auch hier die in Kapitel 3.3.2 genannte Formel angewendet.

Tab. 4-8 Deskriptive Statistik des Abstands zwischen Metatarsale I und V

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Vorfußbreite-Präoperativ	86	53,76	124,28	92,0615	13,83219
Vorfußbreite-follow-up	86	53,16	123,91	88,2034	11,83031
Differenz	86	-1,47	11,45	3,8581	8,13912

Tab. 4-9: Test für gepaarte Stichproben. Der Test ergibt, dass die Differenz von 3,8581 signifikant ($p < 0,001$) von null verschieden ist

	Gepaarte Differenzen					T	Sig. (2-seitig)
	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz			
				Untere	Obere		
Vorfußbreite- präoperativ	3,85812	8,13912	1,03367	5,92507	1,79117	3,732	,000

Zur Untersuchung, in welcher Form die Vorfußbreite das klinische und subjektive Ergebnis (repräsentiert durch den AOFAS Score) beeinflusst, wurde das Patientenkollektiv zweimal in vier Gruppen eingeteilt (s. Graphik 4-14): Die Einteilung geschah anhand der im Follow-up gemessenen Vorfußbreite. Dabei wurden die Patientinnen folgendermaßen in vier Gruppen eingeteilt:

1. Einteilung

- Gruppe I: Vorfußbreite kleiner 90 mm (AOFAS-Score: 80,8 Punkte)
- Gruppe II: Vorfußbreite zwischen 90 und 92 mm (AOFAS-Score: 75,9 Punkte)
- Gruppe III: Vorfußbreite zwischen 93 und 95 mm (AOFAS-Score: 77,2 Punkte)
- Gruppe IV: Vorfußbreite größer 95 mm (AOFAS-Score: 74,3 Punkte)

Der Unterschied zwischen den durchschnittlichen AOFAS-Scores war in keinem der Fälle signifikant. Das impliziert, dass die postoperativ gemessene Vorfußbreite keinen Aufschluss über das subjektiv empfundene Operationsergebnis liefert.

Anders gestaltet sich das, wenn man nicht das Patientenkollektiv anhand der postoperativ gemessenen Vorfußbreite einteilt, sondern die durch die Operation erzielte Verschmälerung des Vorfußes als Einteilungskriterium heranzieht. Es wurden wiederum vier Gruppen erstellt:

2. Einteilung

- Gruppe I: keine Verschmälerung (AOFAS-Score: 75,4 Punkte)
- Gruppe II: Verschmälerung zwischen 0 und 3 mm (AOFAS-Score: 73,3 Punkte)
- Gruppe III: Verschmälerung zwischen 4 und 7 mm (AOFAS-Score: 77,4 Punkte)
- Gruppe IV: Verschmälerung zwischen 8 und 11 mm (AOFAS-Score: 84,8 Punkte)

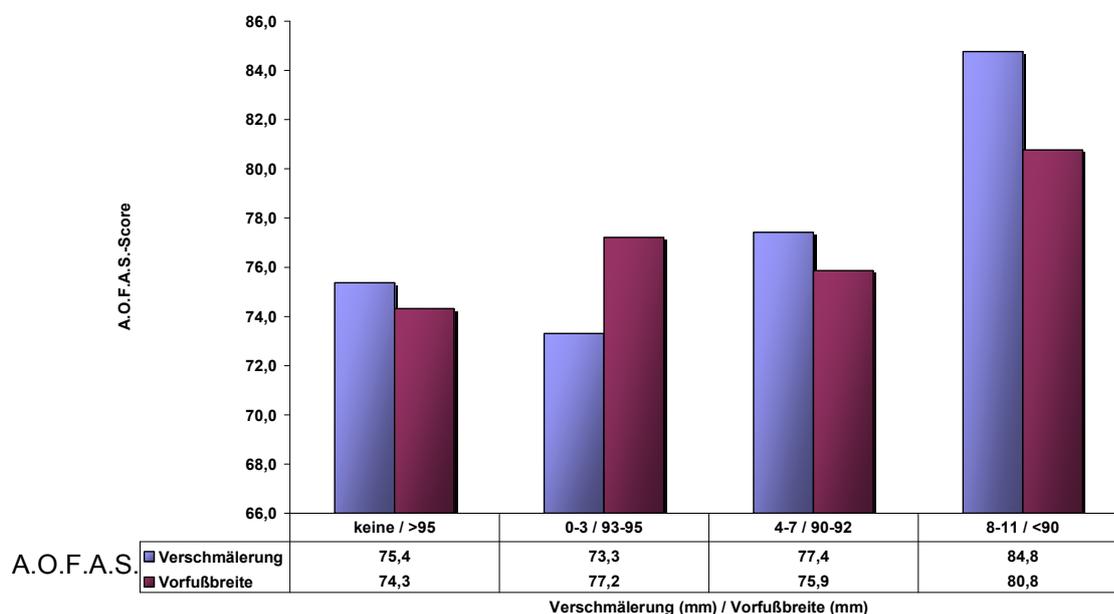
Hierbei ergab sich ein signifikanter Unterschied im AOFAS-Score zwischen der Gruppe II und der Gruppe IV ($p < 0,001$). Das bedeutet, dass die Werte des AOFAS-Scores in der Gruppe mit maximal drei Millimeter Verschmälerung signifikant kleiner waren, als in der Gruppe mit bis zu 11 mm Verschmälerung (s. Tab. 4-10).

Die Daten zeigen, dass die Veränderung der Vorfußbreite einen größeren Einfluss auf das subjektive Befinden der Patienten hat als die absoluten Werte der Vorfußbreite.

Es fiel auf, dass sich die einzelnen Gruppen in der 2. Einteilung hinsichtlich der absoluten Vorfußbreite ebenfalls signifikant unterschieden (s. Tab. 4-10)

Tab. 4-10 Vergleich der einzelnen Gruppen der 2. Einteilung (=Einteilung der Patienten nach Verschmälerung des Vorfußes) hinsichtlich der absoluten Vorfußbreite (gelber Hintergrund) und hinsichtlich des AOFAS-Scores (türkiser Hintergrund). Eingetragen wurde, ob der Vergleich einen signifikanten Unterschied ergab

Gruppe	Vorfußbreite	I	II	III	IV
AOFAS	<i>Mittelwerte</i>	75,4	73,3	77,4	84,8
I	96,1		Signifikant	Signifikant	Signifikant
II	92,9	n.s.		n.s.	Signifikant
III	91,4	n.s.	n.s.		Signifikant
IV	86,3	n.s.	Signifikant	Signifikant	

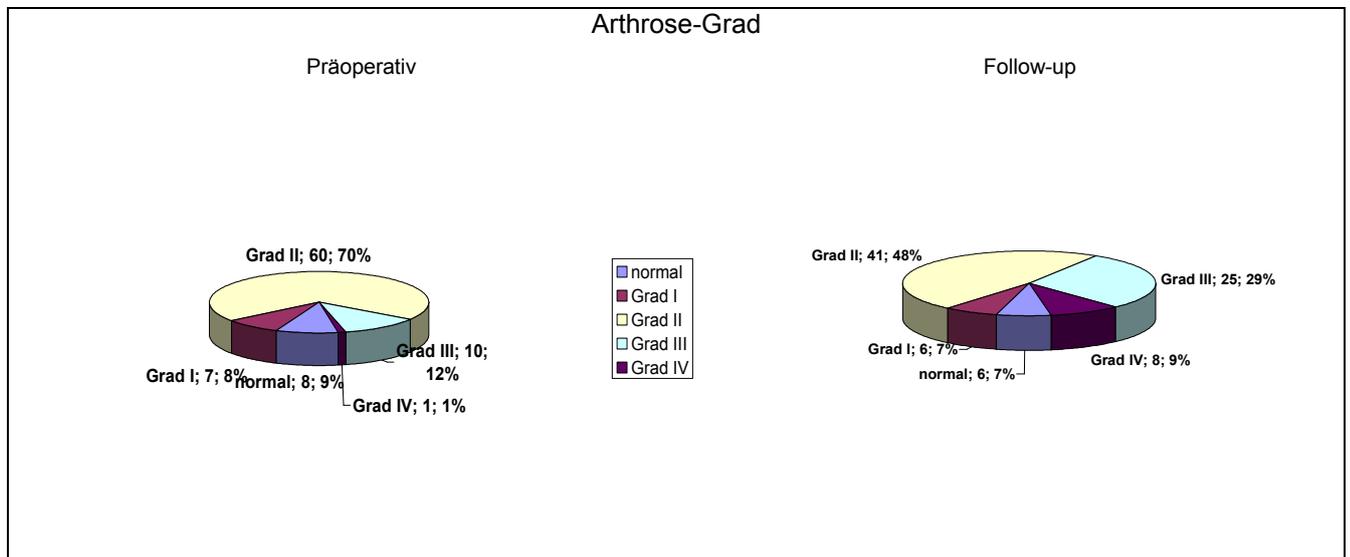


Graphik 4-14 Zusammenhang zwischen der Vorfußbreite bzw. der Verschmälerung des Vorfußes und dem AOFAS-Score

4.2.12 Degenerative Veränderungen des Metatarsophalangeal-Gelenkes

Bei den Untersuchungen musste festgestellt werden, dass die Gelenkdegeneration im Laufe der durchschnittlich vier Jahre zwischen Operation und Nachuntersuchung fortschritt. Vor der Operation war in den meisten Fällen (70%) eine Verschmälerung des Gelenkspalts feststellbar. In den meisten Fällen wurden intraoperativ bereits deutliche Knorpelschäden festgestellt. Bei einer Patientin konnte man bereits vor der Operation eine starke Gelenkspaltverschmälerung erkennen (= Grad IV) (siehe Graphik 4-15). Von acht Patientinnen, die vor der Osteotomie keine degenerativen Anzeichen aufwiesen, hatten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung noch sechs Patientinnen keine degenerativen Veränderungen. Die Anzahl der Patientinnen, bei denen zur Nachuntersuchung kein Gelenkspalt mehr zu erkennen war, stieg auf acht an. Bei 23 Füßen (27%) steigerte sich die

Gelenkdegeneration um ein Grad, bei 8 Füßen (9%) um zwei Grad. Im Durchschnitt stieg der Grad der Gelenkdegeneration um 0,45 Grad an.



Graphik 4-15 Einteilung des Metatarsophalangeal-Gelenkes in vier Arthrose-Grade. Grad I: Sklerosierung; Grad II: Verschmälerung des Gelenkspaltes; Grad III: Osteophyten - und Zystenbildung; Grad IV: Verlust des Gelenkspaltes. Beschriftungserklärung: Grad der Gelenkdegeneration; Anzahl der Füße; prozentualer Anteil

Eine Verbindung zwischen dem Voranschreiten der Gelenkdegeneration und dem Alter der Patientinnen konnte nicht festgestellt werden (s. Tab. 4-11). Es wurde auch untersucht, ob die Stellung der Gelenkflächen des MTP-Gelenkes zueinander (gemessen durch die Parameter Subluxation, Kongruenz und Hallux-valgus-Winkel) die Entstehung einer Arthrose beeinflussen. Wie der Tab. 4-11 zu entnehmen ist, besteht bezüglich dieser Parameter zwischen den einzelnen Graden kein signifikanter Unterschied.

Tab. 4-11 Zuordnung der Parameter Alter der Patientinnen, Grad der Subluxation im MTP-Gelenk, Kongruenz im MTP-Gelenk und HVW-Winkel zum Grad der Gelenkdegeneration beim Follow-up

Arthrose-Grad	0	1	2	3	4
n	6	6	41	25	8
Ø Alter (in Jahren)	61 [41;73]	67 [45;79]	59 [36;79]	65 [55;86]	64 [57;72]
Subluxation (in mm)	0 [-2;3]	0 [-1;0]	0 [-3;4]	1 [-4;5]	-2 [-8;0]
Kongruenz (in °)	-1 [-21;7]	0 [-6;5]	2 [-23;20]	2 [-9;23]	-1 [-6;1]
HVW (in °)	12 [0;26]	12 ;[7;21]	15 [-4;30]	16 [-7;38]	9 [-4;19]

Bei den Patientinnen, deren MTP-Gelenk eine degenerative Veränderung um ein Grad zeigte, wurde ein durchschnittlicher AOFAS Score von 76,2 Punkten ermittelt, bei denen mit zwei Grad ein Score von 72,2 Punkten. Der AOFAS Score bei den Patientinnen, die keine degenerative Veränderung am MTP-Gelenk zeigten, betrug 79,5 Punkte. Aufgrund zu geringer Fallzahlen konnte zwischen den drei Gruppen (Gruppe I: ohne Verschlechterung der Gelenkdegeneration; Gruppe II: Verschlechterung der Gelenkdegeneration um ein Grad bzw. Gruppe III um zwei Grad) bezüglich des AOFAS Scores kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Tendenziell hat der Grad der Arthrose aber einen Einfluss auf das subjektive Ergebnis des Patienten.

5 Komplikationen

Komplikationen, welche anhand des Krankenblatts analysiert werden konnten, umfassen drei Hallux valgus Rezidive, die jeweils eine Re-operation benötigten, ein Ausriss des proximalen Anteils der Osteosyntheseplatte sowie zwei weitere Probleme mit der Osteosynthese-Platte und zwei Fälle mit medialer Subluxation des Metatarso-Phalangeal-Gelenkes, die Entwicklung eines Digitus superductus in zwei Fällen und eine Verschlechterung der Symptomatik in einem Fall (s. Kapitel 4.1.2).

Ein Rezidiv – im Sinne eines HV-Winkels größer 15° – wurde zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung in 37 Fällen diagnostiziert, was aber außer in drei Fällen nicht zu Beschwerden führte.

Die oben aufgelisteten Fälle werden im Folgenden einzeln analysiert:

Eine der Patientinnen entwickelte das Rezidiv vier Jahre nach der Operation, die beiden anderen Patientinnen mit Rezidiv entwickelten dieses bereits im ersten Jahr nach der Operation. Bei einer kam es bereits drei Monate postoperativ zu erneuten Beschwerden am Großzeh.

Die Patientin, welche die Beschwerden vier Jahre nach der Operation entwickelte, wurde sechs Jahre nach der ersten Operation erneut operiert. Ursprünglich erhielt sie zusätzlich zur Basisosteotomie am Metatarsale I Weil'sche Verkürzungsosteotomien an den Mittelfußknochen zwei bis vier. Im Laufe der Zeit entwickelte sich das Rezidiv mit Subluxation und Ausbildung einer Großzehengrundgelenksarthrose sowie einer erneuten Luxation im Grundgelenk der 2. Zehe mit Ausbildung einer Metatarsalgie und Krallenzehen (s. Abb. 5-1 und Abb. 5-2). Aufgrund der erheblichen Gelenkveränderungen war zur Stabilisierung des 1. Strahles und zur Schaffung eines plantigraden Auftrittes nur die resezierende Operation an den Langzehengrundgelenken und die Arthrodesse am Großzehengrundgelenk möglich. Während der Operation stellte sich die Gelenkkapsel stark atrophisch dar, was eine Ursache für das Rezidiv sein könnte.

Die postoperative Zeit gestaltete sich komplikationslos und die Patientin konnte anschließend wieder schmerzfrei gehen.



Abb. 5-1 Rechter Fuß einer Patientin mit Entwicklung eines Rezidivs nach vier Jahren



Abb. 5-2 Röntgenaufnahme vor der Arthrodesese des Großzehengrundgelenkes

Die beiden anderen Patientinnen mit Rezidiv wurden ca. ein Jahr nach der Basisosteotomie re-operiert. Bei beiden Patientinnen wurde eine Chevron Osteotomie sowie eine Arthrolyse des Grundgelenkes und eine Akin Osteotomie der proximalen Phalanx durchgeführt. Bei einer Patientin kam es postoperativ zu keiner weiteren Komplikation. Sie war anschließend beschwerdefrei. Die andere Patientin entwickelte ein Jahr später eine Metatarsalgie unter den Köpfchen zwei und drei, die konservativ mit Einlagen behandelt wurde.

Die Patientin mit Ausriss des proximalen Anteils der Osteosyntheseplatte (s. Abb. 5-4) entwickelte zehn Monate postoperativ beim Gehen starke Schmerzen im Bereich Mittelfußköpfchen. Ihr wurde eine Re-operation mit Versteifung des Tarso-Metatarsal-Gelenkes vorgeschlagen, was sie ablehnte, da sie sich so schnell keiner neuen Operation unterziehen wollte. Momentan wird ihre Metatarsalgie konservativ mit Einlagen und Gangschulung therapiert. Die Dislokation der Knochenfragmente des ersten Metatarsale heilte in Fehlstellung knöchern aus.



Abb. 5-3 präoperative Röntgenaufnahme



Abb. 5-4 Ausriss des proximalen Anteils der Osteosyntheseplatte mit Dislokation der Knochenfragmente

Die beiden Patientinnen mit medialer Subluxation des Metatarso-Phalangeal-Gelenkes hatten keine Beschwerden. Eine von ihnen bemerkte Gangunsicherheiten, die aber ihrer Aussage nach nicht auf den Vorfuß zurückzuführen seien.

Bei den Patientinnen, die eine Superductusstellung der zweiten Zehe bekamen, wurde eine weitere Operation mit Verlängerung der Strecksehnen und einer Arthrolyse durchgeführt. Eine Patientin bekam als Folge der Reibung zwischen der ersten und zweiten Zehe eine Paronychie am lateralen Rand der ersten Zehe. Der Nagel wurde deswegen zusätzlich keilförmig exzidiert. Bei beiden Patientinnen konnten die Probleme durch die Operation beseitigt werden. Sie waren anschließend beschwerdefrei.

Radiologisch wurde im Rahmen der routinemäßigen Nachuntersuchungen bei zwei Patientinnen ein Absteigen der Osteosyntheseplatte festgestellt, was den Patientinnen aber keine Beschwerden bereitete. Nachdem im Röntgenbild eine gute Knochenheilung erkennbar war, wurden die Platten operativ entfernt.

Wie in Abschnitt 4.1.2 bereits beschrieben, verschlechterte sich bei einer Patientin die Schmerzsymptomatik. Sie berichtete beim Follow-up über täglich auftretende, mäßige Schmerzen. Ein halbes Jahr nach dem Follow-up wurde bei ihr eine Fistel im Bereich zwischen dem ersten und zweiten Mittelfußknochen festgestellt, welche anschließend exzidiert wurde. Seither ist die Patientin beschwerdefrei.

6 Diskussion

Der Hallux valgus ist die häufigste Vorfußdeformität und seine operative Therapie vielfältig. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden Patienten klinisch und radiologisch nachuntersucht, die zuvor eine closed wedge Basisosteotomie des ersten Metatarsale und einen distalen Weichteileingriff am MTP-Gelenk erhalten hatten. Die klinischen Ergebnisse wurden mit Hilfe internationaler Scores wiedergegeben und ebenso wie die radiologischen Ergebnisse statistisch ausgewertet.

Therapiert man eine Hallux-valgus-Deformität durch einen chirurgischen Eingriff, sollte das oberste Ziel die Wiederherstellung normaler Verhältnisse am Fuß sein [50]. Dieses Ziel wird erreicht, indem man dem Patienten die Ballenschmerzen und die Metatarsalgie nimmt [69], den ersten Strahl begradigt (Alignment) [69], die Subluxationsstellung des Großzehengrundgelenkes korrigiert, die Gelenkkongruenz wiederherstellt [16, 58, 69, 73] sowie die Lage der Sesambeine korrigiert [3, 16, 73, 79].

Mann [50] forderte, dass die Hallux-valgus-Operation drei grundlegende Probleme behandeln können sollte: Die Beseitigung der medialen Eminenz, die Lockerung der kontrakten lateralen Strukturen und die Verringerung des vergrößerten Intermetatarsal-Winkels. Die MT-I-Basisosteotomie mit distaler Weichteilkorrektur und Abtragung der Pseudoexostose am ersten Mittelfußköpfchen erfüllt demnach grundsätzlich alle Voraussetzungen einer sinnvollen, chirurgischen Therapie. Wie sich dieses Operationsverfahren im Vergleich mit gängigeren Techniken darstellt und ob die oben genannten Kriterien tatsächlich erfüllt werden, war eine der wesentlichen Fragenstellungen dieser Arbeit. Auf sie soll in der folgenden Diskussion eingegangen werden.

Zu diesem Zweck wird die hier angewandte closed wedge Basisosteotomie operationstechnisch und deren Ergebnisse mit den Ergebnissen anderer MT-I-Basisosteotomien sowie gelenkversteifenden Methoden verglichen, gleichzeitig wird auf die Problematik der Metatarsalgie sowie auf mögliche Risikofaktoren eines Rezidivs eingegangen. Untersucht wird außerdem, welchen Einfluss die Nachbehandlung insbesondere die Entlastungszeit auf das Ergebnis hat.

Vergleich mit gängigen Operationsmethoden

Es existieren mehr als 130 verschiedene Operationstechniken zur Therapie des Hallux valgus. Grundsätzlich stimmt die Literatur darin überein, dass eine Verbesserung des IM-Winkels umso größer ist, je proximaler die Osteotomie durchgeführt wird. Dies ist auch, wie Kummer [45] in einer mathematischen Abhandlung der unterschiedlichen MT-I-Osteotomien zeigen konnte, rechnerisch nachvollziehbar. Seiner Meinung nach ist die Veränderung des

IM-Winkels in Relation zur Veränderung an der Stelle der Osteotomie bei der closed bzw. open wedge Osteotomie am größten.

Crescentic Osteotomie

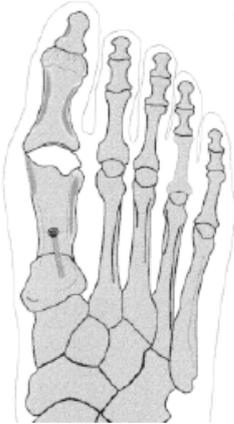


Abb. 6-1 Crescentic Osteotomie: Konvexe Osteotomie ca. 1cm distal des Metatarsocuneiform-Gelenkes [85]

Eine häufig angewendete Operation zur Therapie des mäßigen bis schweren Hallux valgus ist die von Mann et al. [50] beschriebene Crescentic Osteotomie. Diese Operation konnte sich Dank der Einführung bogenförmiger Sägeblätter entwickeln. Der Vorteil dieser Technik ist, dass kein Knochenkeil entfernt werden muss. Somit ist sie besonders geeignet für kurze Metatarsalia-I. Aufgrund der gebogenen Sägelinie ist ein hohes Maß an Korrektur des IM-Winkels mit einem Minimum an Verschiebung der Fragmente möglich. Die Durchtrennung sowohl des lateralen als auch des medialen Periosts und beider Korticalices ist ein immanenter Nachteil dieser Methode birgt die Gefahr der Instabilität und erschwert eine suffiziente Fixierung.

Aufgrund von ähnlichen Fallzahlen wurden zum Vergleich mit unseren Ergebnissen, die Studien von Mann et al. [50] und von Zettl et al. [85] verwendet.

Tab. 6-1 Vergleich zweier Crescentic Osteotomien mit der closed wedge Basisosteotomie: HVW = Hallux valgus Winkel, IMW = Intermetatarsal Winkel, Neigung = medialer Längsgewölbe Winkel, Mayo = Score mit einem Maximum von 75 Punkten, Fu(m) = Zeitspanne zwischen Operation und Nachuntersuchung in Monaten, M:W = männlich : weiblich, n.m. = keine Daten vorhanden

	closed wedge BO	Zettl et al. (2000)	Mann et al. (1992)
HVW prä. (°)	36,4	41,1	30,7
HVW post (°)	14,3	14,6	9,4
Korrektur	22,1	26,5	21,3
IMW prä (°)	17,6	17,8	13,5
IMW post (°)	6,5	7,8	5,5
Korrektur	11,1	10	8
Neigung prä (°)		n.m.	n.m.
Neigung post (°)	22,7	n.m.	n.m.
Korrektur	n.m.	n.m.	n.m.
Arthrosezunahme	36%	12%	24%
Verkürzung	3,2 mm	3 mm	2 mm
Anzahl der Füße	86	86	109
Fu(m)	52	26	34
Mayo prä	22,9	37,2	n.m.
Mayo post	56,8	61,1	n.m.
Korrektur	33,9	23,9	n.m.
Alter der Patienten	57,7	53,2	n.m.
M:W	0:66	8:62	n.m.

Zettl et al. [85] veröffentlichte im Jahr 2000 eine retrospektive Analyse der Crescentic Osteotomie mit den bis dato höchsten präoperativen Werten (im Sinne von HV-Winkel und IM-Winkel). Er maß bei 86 Füßen einen durchschnittlichen Hallux-valgus-Winkel von $41,1^\circ$ (max. 70°). Der Intermetatarsal-Winkel war mit durchschnittlich $17,8^\circ$ ebenfalls sehr groß. Unsere Studie zeigte eine Korrektur des HVW von präoperativ $36,4^\circ$ auf $14,3^\circ$ im Follow-up. Das entspricht einer Verbesserung von durchschnittlich $22,1^\circ$. Beim IMW konnte eine Verbesserung von $11,1^\circ$ gemessen werden, was einer Korrektur von präoperativ $17,6^\circ$ auf $6,5^\circ$ im Follow-up entspricht (siehe Abschnitt 4.2.2). Mit einer HVW-Korrektur durch die Crescentic Osteotomie von durchschnittlich $26,5^\circ$ und einer IMW-Korrektur von 10° liegt das Ergebnis der Studie von Zettl et al. im Bereich unseres Ergebnisses. Mann et al. [50] erreichten in seiner Untersuchung von 109 Füßen, die zuvor einer Crescentic Osteotomie unterzogen wurden, eine durchschnittliche Verbesserung des HVW von $21,6^\circ$ und eine durchschnittliche Verbesserung des IMW von 8° . Obwohl in der Studie von Zettl et al. die höchsten Winkelkorrekturen erzielt wurden, waren bei ihm die postoperativen Winkel dennoch am größten. Zum anderen wurden in der Studie von Zettl et al. postoperative HV-Winkel von -40° als iatrogene Varusfehlstellung gemessen, die in das Gesamtergebnis miteinbezogen wurden und somit die durchschnittliche HVW-Korrektur stark vergrößern und den durchschnittlichen postoperativen HV-Winkel stark verkleinern. Würde man beispielsweise (in einer groben Annäherung) den Hallux varus von 40° aus dem Gesamtergebnis streichen, hätte man einen durchschnittlichen postoperativen HV-Winkel von $15,2^\circ$ (statt $14,6^\circ$) und somit eine HVW-Korrektur von $25,9^\circ$ und nicht mehr die angegebenen $26,5^\circ$. Zettl et al. [85] schreibt, dass 9% der untersuchten Füße ($n=8$) eine Varusfehlstellung mit einem durchschnittlichen Winkel von -16° hatten. Die einzelnen Winkel der Überkorrekturen sind aus den Daten nicht ersichtlich, doch lässt sich mit Hilfe der vorangegangenen Abschätzung schließen, dass sich der durchschnittliche postoperative HV-Winkel weiterhin auf $17,7^\circ$ vergrößern und die durchschnittliche HVW-Korrektur weiterhin auf $23,4^\circ$ verkleinern würde, wenn man die Überkorrekturen aus dem Ergebnis ausschliesse. Die große Streuung des postoperativen HV-Winkels ($SD = 14,6^\circ$) zeigt ebenfalls an, dass viele Fälle mit einem HV-Winkel größer $14,6^\circ$ (= Mittelwert) vorhanden waren. In unserer Studie wurde in drei Fällen eine Varusfehlstellung registriert, welche in das Gesamtergebnis miteinbezogen wurden. Zweimal wurde ein Winkel von -4° gemessen und einmal ein Winkel von -7° . Zwei dieser Patientinnen waren mit dem kosmetischen Ergebnis und mit dem Gesamtergebnis der Operation sehr zufrieden. Nur eine dieser Patientinnen (HV-Winkel von -4°) war mit dem kosmetischen und mit dem Gesamtergebnis größtenteils zufrieden bzw. zufrieden. In unserer Studie wurde eine Standardabweichung von $8,4^\circ$ vom Mittelwert berechnet.

Ähnliches lässt sich auch in Bezug auf den IMW sagen. Auch hier wurden von Zettl et al. negative Werte von bis zu -5° gemessen, die in die Berechnung des Gesamtergebnisses miteinbezogen wurden. Die Standardabweichung ist bei einem kleinen Winkel von $7,8^\circ$ mit $4,7^\circ$ ebenfalls relativ hoch. In unserem Patientenkollektiv wurde zum Zeitpunkt der Nachunteruntersuchung kein negativer IM-Winkel gemessen und auch die Standardabweichung des IMW war mit $3,9^\circ$ deutlich kleiner.

Es stellt sich somit die Frage, ob die guten Ergebnisse von Zettl et al. nicht etwas auf Kosten der überkorrigierten Füße zustande gekommen sind.

Auch Mann et al. [50] bezieht in das Gesamtergebnis des HV-Winkels negative Werte von -11° mit ein. Das heißt, dass auch hier die HVW-Korrektur nicht so groß und der postoperative HV-Winkel nicht so klein wäre, würde man die negativen Werte ausschließen. Beim IM-Winkel wurden bei Mann et al. negative Werte von bis zu -3° Grad gemessen. Bei einem Mittelwert von $5,5^\circ$ und einer Spanne von -3 bis 19° , verzerrt ein negativer Wert von 3° das Gesamtergebnis nicht so gravierend, wie es ein negativer Wert vermag, der eine Differenz von $54,6^\circ$ zum Mittelwert hat, wie dies bei Zettl et al. [85] der Fall ist.

In beiden Studien [50, 85] wurde der Hallux varus als die häufigste Komplikation genannt. Bei Zettl et al. waren es, wie oben bereits erwähnt, 9% und bei Mann et al. 12%.

Von den acht Patienten, die bei Zettl et al. postoperativ eine Hallux-varus-Fehlstellung hatten, wurde in einem Fall eine Re-operation durchgeführt. Ein Patient hatte Probleme beim Tragen von Schuhen, drei Patienten waren mit der kosmetischen Erscheinung unzufrieden und ein Patient klagte weiterhin über Schmerzen.

Von den acht Patienten, die bei Mann et al. eine Hallux-varus-Deformität aufwiesen, wurde nur in zwei Fällen die kosmetische Erscheinung des Fußes beanstandet. Funktional oder klinisch entstanden bei Mann et al. aus der Überkorrektur keine Komplikationen.

In unserem Patientenkollektiv wurde bei den drei Patientinnen, bei denen einen Hallux-varus-Deformität gemessen wurde, klinisch und funktionell keine Einschränkung festgestellt. Der durchschnittliche AOFAS-Score dieser drei Patientinnen lag mit 78,7 Punkten sogar leicht über dem allgemeinen Durchschnitt des gesamten Patientenkollektivs. Die Überkorrektur ist – so scheint es – eher eine Komplikation der Crescentic Osteotomie als der closed wedge Basisosteotomie. Dies könnte darin begründet sein, dass eine Überkorrektur des IM-Winkels bei der Crescentic Osteotomie leichter möglich ist. Da – wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben – bei der von uns angewendeten Operationstechnik die Osteosynthese-Platte lateral am Metatarsale I angebracht wird, kann der Korrekturwinkel besser bestimmt und sicherer fixiert werden. Mann et al. [50] konnte anhand seiner Daten feststellen, dass der IM-Winkel bei den Patienten mit Hallux varus um $5,3^\circ$ ($p < 0,05$) kleiner war, als bei den Patienten ohne Hallux varus. Die Überkorrektur des IM-Winkels könnte somit ein Grund für die Entstehung des Hallux varus sein und durch die Osteosynthese der Osteotomie mithilfe

einer Platte kann dieser Überkorrektur vorgebeugt werden, indem die Fixierung stabiler gestaltet wird.

Über die Bedeutung der Lage der Sesambeine in Bezug auf das klinische Ergebnis herrscht in der Literatur noch keine Einigkeit. Metzdorf schrieb zum Beispiel, dass „die vollständige Reposition der Sesambeine zwingend ist, um ein gutes bis exzellentes Ergebnis zu erzielen“ ([51] S.38). Mann [50] bemerkte hingegen, dass „die Position der Sesambeine weder die Prävalenz oder die Ausprägung der postoperativen Schmerzen und der Metatarsalgie beeinflusst hat noch Auswirkungen auf die Zufriedenheit des Patienten hatte“ (S. 127). Auch in der vorliegenden Studie konnte – wie in Kapitel 4.2.4 ersichtlich – kein Einfluss der Sesambeinlage auf das klinische Ergebnis festgestellt werden. Eine massive kontrakte valgus Fehlstellung erschwert die vollständige Sesambeinrekonstruktion erheblich. Die Gefahr besteht hier vor allem in der irreversiblen Schädigung der lateralen Weichteilstrukturen.

Im Vergleich klinischer Ergebnisse ergab die Zusammenfassung klinischer Erhebungen im Mayo-Clinic-Forefoot-Score in unserer Studie eine Verbesserung von präoperativ 23,0 Punkten um 34,2 Punkte auf einen postoperativen Wert von 57,2 Punkten. Bei Zettl et al. ergab der Score ein postoperatives Ergebnis von 61,1 Punkten (Maximum: 75 Punkte). Präoperativ lag der Score bei 37,2 Punkten, was somit eine Verbesserung von 23,9 Punkten durch die Operation ergibt. Der postoperative Wert unserer Studie liegt somit 3,9 Punkte unter dem Ergebnis von Zettl et al..

Ein wesentlicher Unterschied, der den höheren Score bei Zettl. et al. erklärt, ist, dass bei ihnen 82% der Patienten, keine Beschränkung der Schuhwahl hatten, während in unserer Studie in nur 39% der Fälle modische Schuhe tragen konnten. Die Mehrzahl der Patientinnen (59%) bevorzugte bequeme Schuhe mit niedrigen oder keinen Absätzen. Schließt man den Punkt *Schuhwahl* aus dem Forefoot Score aus, ergibt das rechnerisch bei Zettl et al. einen Score von durchschnittlich 48,5 Punkten verglichen mit 51,1 Punkten in unserer Studie. Dieses rechnerische Beispiel soll nicht darüber hinwegtäuschen, dass unser Ergebnis im Forefoot Score im Schnitt um 3,9 Punkte schlechter war, es soll nur verdeutlichen, welchen großen Einfluss ein Faktor auf das Gesamtergebnis eines Scores hat. Zudem ist die Frage, welche Schuhe man trägt, für einen Patienten, der zuvor wegen eines Hallux valgus operiert wurde, nicht ganz unbefangenen zu beantworten. Ist es doch die gängige Meinung und auch in der medizinischen Literatur weit verbreitet (siehe Kapitel 1.3), dass die Wahl der Schuhe die Pathogenese des Hallux valgus stark beeinflusst. Zudem wurde unseren Patienten geraten, modisches Schuhwerk so gut wie möglich zu meiden. Obwohl die durchschnittliche postoperative Punktzahl in unserer Studie geringer war, als in

der Studie von Zettl et al. war die Verbesserung des Werts durch die Operation in unserem Patientenkollektiv höher (23,9 Punkte bei Zettl et al., 34,2 Punkte in unsere Studie). Der durchschnittliche präoperative Wert von 23 Punkten in unserer Studie ist ein Indiz dafür, dass der Hallux valgus bereits in einem fortgeschritteneren Stadium war, als dies in der Studie von Zettl et al. der Fall war (präoperativer Wert: 37,2).

1996 schrieben Dreeben et al. [19], dass die Crescentic Osteotomie zusammen mit einem distalen Weichteileingriff ein gutes Langzeitresultat erzielt und eine Arthrodese des Tarso-Metatarsal-Gelenkes (= Lapidus Arthrodese) auch bei großen IM-Winkeln normalerweise nicht notwendig sei und sie somit nicht routinemäßig in der Therapie des Hallux valgus eingesetzt werden soll. Ob ihre Schlussfolgerung auch auf die hier vorgenommene Operationstechnik übertragen werden kann, soll im Folgenden untersucht werden.

Lapidus Arthrodese

In einem 2006 erschienenen Artikel der Zeitschrift *Podiatry Today* von B. Baravarian et al. [5] wird die closed wedge Basisosteotomie mit der Lapidusarthrodese verglichen. Anhand von

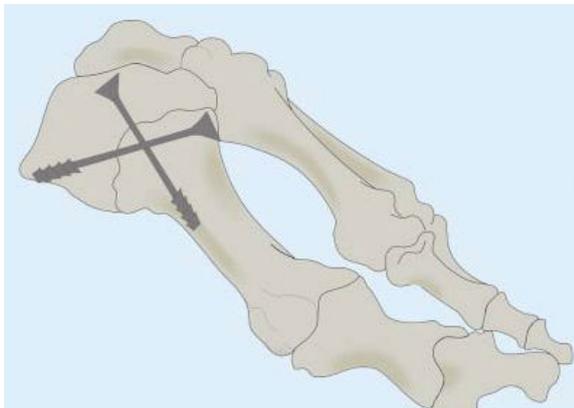


Abb. 6-2 Lapidus Arthrodese [77]

theoretischen Annahmen und klinischer Erfahrung ohne die Anwendung klinischer Daten werden diese beiden Operationstechniken in Relation zueinander gestellt. Dieser Artikel gibt Anlass, die beiden Operationstechniken anhand von klinischen Daten zu vergleichen. Die klinischen Daten des Vergleich wurden den Arbeiten von Metzdorf und Strehle [51], Rink-Brüne [63],

Kopp et al. [44], Bednarz et al. [7] und Catanzariti et al. [11] entnommen.

Paul Lapidus [46] führte 1934 die tarsometatarsale Arthrodese zur Behandlung der schweren Hallux-valgus-Fehlstellung ein. Mit der modifizierten Lapidus-Arthrodese wird versucht, die Pathologie (Metatarsus primus varus und Hallux valgus) an der Wurzel zu korrigieren. Es handelt sich um eine alleinige Arthrodese des Tarsometatarsale-I-Gelenkes. Zahlreiche retrospektive klinische Studien wurden seit der Einführung der Operationstechnik durchgeführt, die meisten mit guten Ergebnissen [7, 11, 44, 51, 63, 66].

Im Folgenden wird der Frage nachgegangen, in welchem Maße sich unsere Ergebnisse von den Ergebnissen der Lapidus Arthrodese unterscheiden und welche Ursachen für die unterschiedlichen Ergebnisse in Frage kommen (siehe Tab. 6-2).

Tab. 6-2 Vergleich unterschiedlicher Lapidus Arthrodesen mit der closed wedge Basisosteotomie; HVW = Hallux valgus Winkel, IMW = Intermetatarsal Winkel, Neigung = medialer Längsgewölbe-Winkel, AOFAS = Score mit einem Maximum von 100 Punkten, Fu(m) = Zeitspanne zwischen Operation und Nachuntersuchung in Monaten, M:W = männlich : weiblich, n.m. = keine Daten vorhanden

	closed wedge BO	Kopp (2005)	Catanzariti (1999)	Rink-Brüne (2004)	Bednarz (2000)	Metzdorf (2001)
HVW prä. (°)	36,4	34	n.m.	n.m.	27	35
HVW post (°)	14,3	11	n.m.	n.m.	17	16
Korrektur (°)	22,1	23	n.m.	n.m.	10	19
Korrektur %	60,7	67,6	n.m.	n.m.	37,0	54,3
IMW prä (°)	17,6	16	13,8	22,5	18	14,5
IMW post (°)	6,5	6	2,1	10,1	8	8
Korrektur (°)	11,1	10	11,7	12,4	10	6,5
Korrektur %	63,1	62,5	84,8	55,1	55,6	44,8
Neigung prä (°)	n.m.	20,7	n.m.	n.m.	21	n.m.
Neigung post (°)	22,7	21,3	n.m.	n.m.	23	n.m.
Änderung (°)	n.m.	0,6	n.m.	n.m.	2	n.m.
Verkürzung (mm)	3,2	n.m.	4,7	3,1	n.m.	n.m.
Anzahl der Füße	86	34	47	106	31	34
Fu(m)	52	42	75	3	46	14
AOFAS prä	n.m.	44,8	n.m.	n.m.	48,7	n.m.
AOFAS post	78	87,3	n.m.	n.m.	91,6	86
Verbesserung	n.m.	42,5	n.m.	n.m.	42,9	n.m.
Alter der Patienten	57,7	54	43	49,7	54	55
M:W	0:66	2:30	10:29	3:103	3:23	3:31

Metzdorf und Strehle führten bei 34 Füßen eine Lapidus Arthrodesese mit lateralbasiger Keilentnahme durch. Sie fixierten die Osteotomie mit zwei Schrauben. Der durchschnittliche HV-Winkel war präoperativ 35° und postoperativ 16° (Korrektur: 19°). In unserer Studie verbesserte sich der HV-Winkel von 36,4° auf 14,3°.

Kopp et al. [44] sowie Catanzariti et al. [11] stabilisierten die Arthrodesese wie Metzdorf und Strehle mit zwei Schrauben, die das Metatarsale I an das Os cuneiforme mediale fixierten. Nach der Entnahme eines lateralbasigen Keils setzten Kopp et al. und Catanzariti et al. in den Gelenkspalt zuvor gewonnenes Knochenmaterial ein, um eine Verkürzung des Mittelfußknochen möglichst zu verhindern.

Bednarz und Manoli [7] verwendeten ebenfalls zwei Schrauben, wobei eine dieser Schrauben nicht in das mediale Keilbein eingeschraubt wurde, sondern das erste und das zweite Metatarsale verband. Sie entfernten am Metatarsale I und Os cuneiforme mediale lateral und basal etwas mehr Knochensubstanz, um eine Valgisierung und Plantarflexion des ersten Mittelfußknochens zu erreichen.

Rink-Brüne [63] entfernt vom medialen Keilbein einen lateralbasigen Keil und fixiert anschließend die beiden Knochen mithilfe einer Schraube und einem Kirschner Draht um eine Rotation zu vermeiden.

Die höchste HVW-Korrektur erreichten Kopp et al. [44], mit einer absoluten Verkleinerung des HV-Winkels um 23 Grad. Die Basisosteotomie erreichte eine Korrektur von 22,1 Grad. Die Studie mit der kleinsten HVW-Korrektur, dem kleinsten Ausgangswinkel und dem größten postoperativ Winkel stammt von Bednarz und Manoli [7], die 31 Füße nach untersuchten. Wie der Tab. 6-2 zu entnehmen ist, entsprechen die Ergebnisse der Basisosteotomie hinsichtlich des HV-Winkels den Ergebnissen der unterschiedlichen Lapidus Ausführungen. Mit 60,7% HVW-Korrektur liegt die Basisosteotomie über dem Durchschnitt der Arthrodese.

Wie bei der Lapidus Arthrodese so wird auch bei der closed wedge Basisosteotomie die Verkleinerung des HV-Winkel durch den distalen Weichteileingriff erzielt. Daher ist der direkt postoperativ gemessene HV-Winkel kein guter Parameter zum Vergleich dieser Operationsformen, da er durch die proximal stattfindende Osteotomie nicht primär beeinflusst wird. Beide Operationsmethoden beeinflussen den IM-Winkel, sodass der Vergleich dieses Winkels postoperativ bzw. nach einem längeren Zeitraum Aufschluss über die Sicherheit der primären Korrektur und die Dauerhaftigkeit der Korrektur ergibt.

Im Bereich des IM-Winkels liegt das Ergebnis der Basisosteotomie sowohl bei den absoluten Werten des bei der Nachuntersuchung gemessenen Winkels als auch bei den Werten der absoluten und relativen Korrektur über dem Durchschnitt der Lapidus Arthrodese (s. Tab. 6-2). Die höchste prozentuale Korrektur des IM-Winkels erzielten Catanzariti et al. [11], die bei 47 Füßen, nach durchschnittlich 75 Monaten eine Verbesserung des Winkels von präoperativ 13,8° auf postoperativ 2,1° maßen. Dies entspricht einer Korrektur von 11,7° bzw. 84,8%. Die höchste absolute Korrektur wurde in der Studie von Rink-Brüne [63] erreicht, die retrospektiv 106 Patienten untersuchte, welche drei Monate zuvor operiert wurden. Wie oben beschrieben, geben diese Röntgendaten aufgrund der kurzen Zeitspanne eher die Potenz, d.h. die größtmögliche Winkelkorrektur, als den Langzeiteffekt einer Behandlungsmaßnahme wieder.

In der vorliegenden Studie wurde eine Verkürzung des ersten Metatarsale von 3,2 mm gemessen.

Nur in den Studien von Catanzariti et al. [11] und Rink-Brüne [63] wurde diese Verkürzung gemessen. Catanzariti et al. berichten über eine Verkürzung des ersten Metatarsale von 4,7 mm bei den Patienten, denen während der Operation kein Knochenmaterial eingesetzt wurde. Bei den Patienten mit Knochentransplantation erreichten sie eine durchschnittliche Verlängerung des ersten Mittelfußknochens um 2,6 mm. Die Risiko dieser Knochenverlängerung sind jedoch relativ hoch:

Der Anteil der Patienten mit Pseudoarthrose war erhöht und die Rehabilitationszeit verlängert.

Rink-Brüne [63] berichtet über eine durchschnittlich Verkürzung des ersten Metatarsale aller 106 Füße von 3,9 mm. Dabei wurde aber bei 20 Patienten eine Verkürzung durch die Operation bewusst hervorgerufen, da – wie Rink-Brüne schreibt – ein angeborener langer erster Mittelfußknochen vorhanden war. Das ergibt eine durchschnittliche Verkürzung bei Patienten mit normal langen bzw. kurzen ersten Metatarsale von 3,1 mm.

Aufgrund unterschiedlicher Messmethoden wäre es falsch, die Messwerte direkt zu vergleichen, d.h. eine Aussage darüber, welche Operationsmethode das Metatarsale I am stärksten verkürzt ist hier nicht möglich.

Rink-Brüne verglich die Länge des ersten Metatarsale, indem sie das Röntgenbild, welches vor der Operation angefertigt wurde und das Röntgenbild, welches drei Monate postoperativ entstand, übereinander legte und den Längenunterschied des ersten Metatarsale ausmaß. Die Gefahr bei dieser Methode ist, dass eine leichte Variation der Aufnahmetechnik (z.B. Veränderung des Film-Fokus-Abstandes) die Messergebnisse verfälschen kann.

Catanzariti et al. [11] wählten eine Messmethode, die als Referenzpunkt den Schnittpunkt der Schafthalbierenden des ersten und zweiten Metatarsale nützt. Von diesem Punkt ausgehend, misst man den Abstand zum Kopf des ersten und zweiten Metatarsale. Die Differenz der beiden Längen wird zwischen der präoperativen und der postoperativen Aufnahme verglichen. Der Vorteil dieser Messmethode ist, dass sie die absolute Längenveränderung des ersten Metatarsale besser als die uns gewählte Methode erfasst. Darin ist aber auch ihr Nachteil begründet: Da mit dieser Messmethode funktionelle MT-I-Verlängerungen (z.B. durch IM-Winkel Reduzierung) nicht gemessen werden, spiegelt sie die reinen anatomischen Veränderungen wider, nicht aber die biomechanischen.

Anhand der gegebenen Daten lässt sich dennoch sagen, dass die Basisosteotomie nicht zu verstärkter Verkürzung des ersten Metatarsale im Vergleich zur Lapidus Arthrodesse führt. Zusammenfassend erzielt die Lapidus Arthrodesse keine höhere und stabilere HV-Winkel bzw. IM-Winkel Korrektur als die closed wedge Basisosteotomie. Die Entlastungszeit ist bei der Lapidus Arthrodesse wesentlich länger, als bei der Basisosteotomie mit Platten-Osteosynthese. Die Verkürzung des ersten Mittelfußknochens ist bei der Lapidus Arthrodesse stärker als bei der closed wedge Basisosteotomie.

Aufgrund der gegebenen Daten lässt sich sagen, dass die postoperativen Ergebnisse der Basisosteotomie den Ergebnissen der Lapidus Arthrodesse nicht nachstehen und eine Aussage, wie jene von Baravarian [5], dass die Lapidus Arthrodesse die closed wedge Basisosteotomie ersetzen sollte, kann mit dem Vergleich zwischen den Ergebnissen der proximalen Osteotomie und der Lapidus Arthrodesse nicht unterstützt werden.

Da beide Operationstechniken vergleichbar gute Ergebnisse produzieren, sind beide sinnvolle Optionen in der Therapie des Hallux valgus. Beide sind technisch anspruchsvoll [5], jedoch ist bei der Lapidus eine längere Entlastung notwendig. Rink-Brüne [63] schreibt, dass die Patienten sechs Wochen auf Krücken laufen mussten, bis sie anschließend wieder langsam den operierten Fuß belasten durften. Bei der closed wedge Basisosteotomie mit Plattenfixierung können die Patienten bereits am dritten Tag nach der Operation den Fuß im Entlastungsschuh wieder voll belasten.

Es erscheint uns sinnvoll, die beiden Operationsmethoden nicht als Konkurrenten zu betrachten, wie Baravarian et. al [5], sondern ihre Indikationsstellung zu unterscheiden. Für die Therapie des mäßigen bis schweren Hallux valgus mit Metatarsus primus varus ist unserer Meinung nach die Basisosteotomie mit distaler Weichteilkorrektur die optimale Therapieform. Sie ist gelenkerhaltend, die Entlastungszeit ist kürzer und die Gefahr einer Pseudoarthrose ist niedriger.

Ist jedoch der Metatarsus primus varus assoziiert mit einem hypermobilen und/oder einem sehr schrägen Tarso-Metatarsal-Gelenk kann die Basisosteotomie nicht ausreichend sein. Hier erscheint uns die Versteifung des Tarso-Metatarsal-Gelenkes in Form einer Lapidus Arthrodesese sinnvoll. Sie erlaubt eine Korrektur des IM-Winkels, der Dorsalextension und der Pronation des ersten Metatarsale [5]. Ebenfalls ist sie indiziert bei Arthrose des ersten Tarso-Metatarsal-Gelenkes und bei extrem hohen IM-Winkels über 25° und hohem Abstand zwischen Metatarsale I und II.

Ludloff Osteotomie

In einem 2006 erschienenen Artikel zeigten Pinney et al. [59] durch die Befragung operativ tätiger Orthopäden in den USA, dass die am häufigsten angewandten Basisosteotomien die Ludloff Osteotomie (44%), die Crescentic Osteotomie (30%) und die basale Chevron Osteotomien sind. Die Ludloff Osteotomie ist eine Operation am metaphysiodiaphysären Übergang, die 1913 von Dr. Karl Ludloff beschrieben wurde. Aufgrund der Einführung der Schraubenosteosynthese 1983 durch Cisar et al. [13] fand sie sehr weite Verbreitung und Anwendung. Die Osteotomie erstreckt sich von dorsal proximal auf Höhe des Tarso-Metatarsal-Gelenkes schräg nach distal plantar. Nach Verschieben der beiden Knochenfragmente wird die Osteotomie mit zwei Schrauben fixiert.

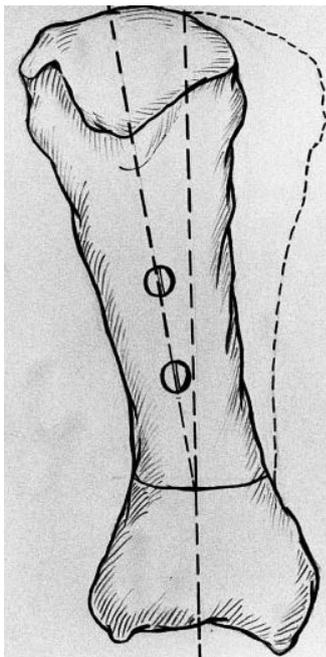


Abb. 6-3 Ludloff Osteotomie [6]

Die Ludloff Osteotomie ist eine Operationstechnik, die ebenfalls gelenkerhaltend ist und eine kurze Entlastung benötigt. Petroutsas et al. [57] veröffentlichten 2005 eine Studie, in der sie 76 Patienten klinisch und radiologisch nachuntersuchten. Die Patienten wurden durchschnittlich 36 Monate zuvor mit der von Ludloff beschriebenen Methode operiert. Der durchschnittliche IM-Winkel konnte von 18° auf 9° und der durchschnittliche HV-Winkel von 37° auf 14° korrigiert werden. Das entspricht einer Reduktion von 9 bzw. 23° und gleicht somit unseren Daten von 11,1 bzw. 21,1°. Der durchschnittliche postoperative Wert des AOFAS-Scores in unserer Studie war 78 Punkte. 48,5% der Patientinnen waren schmerzfrei und 39,5% hatten gelegentlich, leichte Schmerzen. 12,1% klagten über mäßige, täglich auftretende Schmerzen. Der AOFAS-Score bei Petroutsas et al. wurde um 36 Punkte verbessert (von 52 auf 88). 80% der Patienten waren schmerzfrei und 15% klagten über gelegentlich auftretenden Schmerz. Die restlichen 5% wurden nicht angegeben und verteilen sich wohl auf die letzten beiden Stufen. (eine Übersicht der Werte wird in Tab. 6-3 gegeben). Bei keiner der Patientinnen in unserem Kollektiv wurde zusätzlich eine subkapitale Osteotomie durchgeführt und wie in Abschnitt 4.2.3 gezeigt, konnte ein hoher DMAA-Wert nicht für das postoperative Entstehen einer Arthrose oder eines Rezidives verantwortlich gemacht werden.

Petroutsas et al. [57] führten bei hohen DMAA-Werten zusätzlich noch eine subkapitale Osteotomie des ersten Metatarsale durch, um postoperativ ein möglichst kongruentes MTP-Gelenk herzustellen. Dieser Überlegung liegt zugrunde, dass die Abkippung des distalen Anteils des ersten Metatarsale nach lateral die laterale Neigung der distalen Gelenkfläche (bei hohem DMAA) verstärken würde, und somit postoperativ die Gelenkflächen des MTP-Gelenkes nicht mehr zu 100% artikulieren könnten, was das Risiko eines Rezidives und der Gelenkdegeneration erhöht.

Petroutsas et al. gehen nicht darauf ein, ob und in welcher Form die zusätzlich durchgeführte subkapitale Osteotomie einen Einfluss auf das klinische und radiologische Ergebnis hat. Das Risiko einer zusätzlichen Osteotomie (Gefahr der Pseudoarthrose, Infektionsgefahr, Nervenschädigung und Störung des Blutflusses) sollte hier sorgfältig mit dem Nutzen abgewogen werden. Coughlin [15] zeigte 1997, dass der DMAA der limitierende Faktor in der Korrektur des Hallux valgus mit einer Basisosteotomie und distaler Weichteilkorrektur ist. Unseres Wissens konnte noch nicht bewiesen werden, ob eine zusätzliche subkapitale Osteotomie das Langzeitergebnis signifikant verbessert.

Aus radiologischer Sicht erzielen die Ludloff Osteotomie und die closed wedge Basisosteotomie vergleichbar gute Ergebnisse, doch das subjektive Ergebnis war bei der Ludloff Osteotomie deutlich besser. Weniger Patienten hatten postoperativ Schmerzen, was sich auch im AOFAS-Score widerspiegelt, der durchschnittlich zehn Punkte besser war als in der hier vorgelegten Studie.

Bei den meisten Patienten in der vorliegenden Studie, die postoperativ über Schmerzen klagten, war die Metatarsalgie die Ursache (76%). Obwohl die Häufigkeit der Metatarsalgie durch den operativen Eingriff verringert werden konnte, bleibt sie ein bisher noch unzureichend therapierbares Problem der Vorfußchirurgie. Petroutsas et al. [57] gehen in ihrer Studie nicht detailliert auf diese Thematik ein, doch ist aus ihren Zahlen erkennbar, dass maximal 15/76 Patienten (=Anzahl der Patienten mit Schmerzen) postoperativ unter einer Metatarsalgie litten. Leider wird aus dem Artikel nicht ersichtlich, wie viele Patienten vor der Operation unter Schmerzen litten, was somit einen Vergleich erschwert. Dennoch bleibt festzuhalten, dass bei der Ludloff Osteotomie deutlich weniger Patienten postoperativ über Schmerzen klagten, was unter anderem an einem geringeren Auftreten einer Metatarsalgie liegen könnte.

Die Ludloff-Osteotomie ist folglich ein guter Maßstab, an dem sich weitere Studien zur closed-wedge Basisosteotomie orientieren können.

Basale Chevron Osteotomie

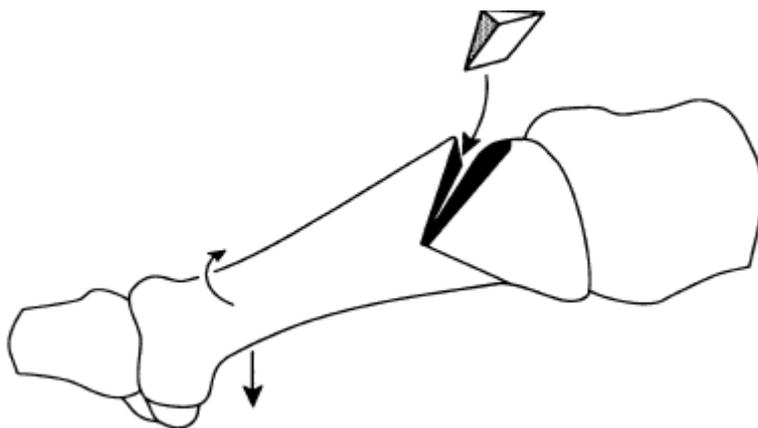


Abb. 6-4 Proximale Chevron Osteotomie mit dorsaler Einbringung eines Knochenkeils [8]

Wie bereits erwähnt, führen proximale Osteotomien zu einer ausgeprägteren Verkleinerung des IM-Winkel als distale Osteotomien. Diese Erkenntnis macht sich Borton [8] zu Nutze und verlagert die normalerweise distal stattfindende Chevron

Osteotomie bei großem IM-Winkel nach proximal. Da die

Ausgangswerte (HV-Winkel und IM-Winkel) in seiner Studie mit unseren Werten vergleichbar sind, werden in dieser Arbeit seine Ergebnisse mit unseren verglichen.

Die basale Chevron Osteotomie hat eine ähnliche Indikationsstellung, wie die closed wedge Basisosteotomie. Diese Operation hat nach der von Borton und Stephens [8] verwendeten Methode ein geringes Risiko einer postoperativen Dorsalextension des ersten Metatarsale, da sie dorsal in den Osteotomiespalt das, vom Abtragen der Exostose gewonnene, Knochenfragment einklemmen. Borton und Stephens [8] untersuchten zwischen 1991 und 1992 31 Patienten (32 Füße), die durchschnittlich 9,9 Monate zuvor am ersten Metatarsale nach der oben genannten Methode operiert wurden.

Borton und Stephens [8] beziehen auch die subjektiven Angaben auf eine Gesamtzahl von 32, daher sind die hier aus ihren Daten errechneten Prozentangaben, ebenfalls auf eine

Gesamtheit von 32 „Patienten“ bezogen. Die Angabe in Prozent dient dem Vergleich der Werte.

Postoperativ maßen Borton und Stephens [8] einen HV-Winkel von $19,2^\circ$ (präoperativ: $40,9^\circ$). Das entspricht einer Korrektur von $21,7^\circ$. Der IM-Winkel verbesserte sich um $9,7^\circ$ von $16,5^\circ$ auf $6,8^\circ$. Die Ergebnisse der closed wedge Basisosteotomie zeigen fast identische Ergebnisse mit einer Verbesserung des HV-Winkels um $22,1^\circ$ von präoperativ $36,4^\circ$ auf $14,3^\circ$ und einer Verbesserung des IM-Winkels um $11,1^\circ$ von $17,6^\circ$ auf $6,5^\circ$ postoperativ. Borton und Stephens [8] berichten über einen präoperativen medialen Längsgewölbe-Winkel von $22,8^\circ$ was dem postoperativen Wert ($=22,7^\circ$) unserer Studie entspricht. Postoperativ erreichten sie aufgrund des hinzugefügten Knochenkeils einen Längsgewölbe-Winkel von $21,4^\circ$, was einer Plantarisierung von $1,4^\circ$ entspricht (siehe Tab. 6-3).

Über Schmerzen klagten bei Borton und Stephens [8] zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 10 Patienten (31%). Davon hatten neun gelegentlich auftretende Schmerzen und ein Patient starke Schmerzen. In unserem Patientenkollektiv klagte keine Patientin über starke Schmerzen. 34 Patientinnen (51,5%) hatten leichte bis mäßige Schmerzen und 32 Patientinnen (48,5%) gaben an, keine Schmerzen zu haben.

Das Problem einer Überkorrektur trat auch in der Studie von Borton und Stephens [8] zweimal auf, eine mit 13° und die andere mit 27° .

Die Ergebnisse der Studie über die basale Chevron Osteotomie gleichen denen der hier vorgelegten Untersuchung mit der closed wedge Basisosteotomie. Eine Entscheidung für oder gegen die eine oder andere Operationsmethode, lässt sich anhand der Studienergebnisse nicht treffen. Beide Methoden erreichen eine hohe Winkelkorrektur und erzielen eine hohe Patientenzufriedenheit (31/32 Patienten bei Borton und Stephens, 63/66 Patienten in unserem Kollektiv).

Wilson Osteotomie



Abb. 6-5 Wilson Osteotomie [32]

Eine weitere häufig angewendete Operation ist die Wilson Osteotomie. Eine Operation am distalen metatarsalen Schaft, die in einer Studie von Helal et al. 1974 [28], die besten Resultate erzielte. Im Rahmen dieser Studie wurden acht Hallux valgus Operationsmethoden betrachtet und sowohl subjektive als auch objektive Ergebnisse ausgewertet. Von den acht Operationsmethoden waren vier distale MT-I-Osteotomien (modifizierte McBride, Wilson, Peabody und Mitchell), zwei proximale Osteotomien (Simmonds und Golden) und zwei Methoden reine Weichteilkorrekturen (McBride und Joplin). Da sich seit 1974 die Methoden und insbesondere die Osteosyntheseformen deutlich

weiterentwickelt haben, ist diese Studie vor allem von historischem

Interesse.

Das Fazit dieser Studie *umso komplizierter ein Eingriff umso schlechter das Ergebnis* ([28]; S.294) sei, so Helal, ein weit verbreiteter Leitspruch in der Chirurgie und sollte auch in der Therapie des Hallux valgus berücksichtigt werden [28]. Im Ergebnis ihrer Studie sehen sie eine Bestätigung ihres Fazits, da die Wilson Osteotomie nicht nur technisch einfach ist und das Bindegewebe gering schädigt, sondern auch eine gute Korrektur der Deformität erzielt [28].

Manjure et al. [48] führten 2003 eine Untersuchung mit 70 Patientinnen (n=102) durch, die im Durchschnitt ca. sechs Jahre zuvor einer Wilson Osteotomie unterzogen wurden. Ihre Daten werden zum Vergleich herangezogen.

Sie maßen eine Verbesserung des HV-Winkels um 17° von 34° auf 17° und eine Verbesserung des IM-Winkels um 6° von 14° auf 8° (siehe Tab. 6-3).

Im AOFAS-Score erreichten 41% ein exzellentes, 40% ein gutes und 9% ein ausreichendes Ergebnis. 4% der Patientinnen wurden als schlecht eingestuft. Welchen Wert die restlichen 6% hatten, ist aus den Daten nicht erkennbar. Wie bereits im Vergleich unserer Ergebnisse im Mayo-Forefoot-Score mit den Ergebnissen von Zettl et al. [85] festzustellen war, wird auch hier wieder deutlich, dass unsere Ergebnisse im AOFAS-Score deutlich unter denen von Manjure et al. [48] liegen. In unserem Patientenkollektiv erreichten 20% ein exzellentes, 32% ein gutes und 24% ein ausreichendes Ergebnis. 24% der Patientinnen hatten einen AOFAS-Score unter 70 Punkten. Ob in diesem Fall die Schuhwahl einen ähnlich gravierenden Effekt auf das Gesamtergebnis hat wie im Vergleich unserer Daten mit jenen von Zettl et al. [85], lässt sich schwer sagen, da die Angaben von Manjure et al. bezüglich der Schuhwahl nicht den Vorgaben des AOFAS-Scores entsprechen. Manjure et al. geben bei der Frage zur Schuhwahl drei Antwortmöglichkeiten vor (in Klammern stehen die Ergebnisse von Manjure et al.):

1. erwünschte Schuhe (postoperativ: 52%)
2. flache Schuhe (postoperativ: 44%)
3. weite Schuhe (postoperativ: 4%)

Wie der Abbildung 1 im Anhang zu entnehmen ist, sind die Antwortmöglichkeiten im AOFAS-Score nach Kitaoka et al. [41] anders formuliert. Es muss daher offen bleiben, welcher Faktor bzw. welche Faktoren zu den im Vergleich zu unseren Daten besseren Ergebnisse im AOFAS-Score geführt haben.

Aufgrund der radiologischen Ergebnisse lässt sich jedoch sagen, dass die Basisosteotomie eine weitaus größere Potenz zur Winkelkorrektur besitzt, als die Wilson Osteotomie. Bei vergleichbaren Ausgangswerten wurde mit der Basisosteotomie eine HV-Winkel – bzw. IM-Winkel Korrektur von 21,1° (Manjure et al.: 17°) bzw. 11,1° (Manjure et al.: 6°) gemessen.

Die Komplikation einer postoperativen Metatarsalgie, welche eher den proximalen Osteotomien zugeschrieben wird [25, 81], registrierten Manjure et al. [48] in 18 Fällen (18%). Davon sind in mindestens zwölf Fällen die Schmerzen erst nach der Operation entstanden. In unserer Studie klagten elf Patientinnen (12,8%) über postoperativ entstandene Metatarsalgien.

Da die Winkelkorrektur der Wilson Osteotomie nicht so hoch ist, sollte sie nicht in Fällen mit schwerem Hallux valgus (HV-Winkel > 40°) angewendet werden. Der Vergleich der Basisosteotomie mit der Wilson Osteotomie zeigt, dass in Fällen mit mäßigen oder mildem Hallux valgus ist die Gefahr der Entstehung einer Transfermetatarsalgie bei der Wilson Osteotomie nicht kleiner ist.

Tab. 6-3 Vergleich der Ludloff Osteotomie, der basalen Chevron Osteotomie und der Wilson Osteotomie mit der closed wedge Basisosteotomie; HVW = Hallux valgus Winkel, IMW = Intermetatarsal Winkel, Neigung = medialer Längsgewölbe-Winkel, AOFAS = Score mit einem Maximum von 100 Punkten, Fu(m) = Zeitspanne zwischen Operation und Nachuntersuchung in Monaten, M:W = männlich : weiblich, n.m. = keine Daten vorhanden

	Petroutsas&Trnka (2005): Ludloff OT	Borton&Stephens (1994): Chevron OT	Manjure et al. (2003): Wilson OT	closed wedge BO
HVW prä. (°)	37	40,9	34	36,4
HVW post (°)	14	14,2	17	14,3
Korrektur	23	26,7	17	22,1
IMW prä (°)	18	16,5	14	17,6
IMW post (°)	9	6,8	8	6,5
Korrektur	9	9,7	6	11,1
Neigung prä (°)	n.m.	22,8	n.m.	
Neigung post (°)	n.m.	21,4	n.m.	22,7
Korrektur	n.m.	1,4	n.m.	n.m.
Verkürzung	n.m.	n.m.	n.m.	3,2 mm
Anzahl der Füße	76	32	102	86
Fu(m)	36	9,9	72	52
AOFAS prä	52	n.m.	n.m.	n.m.
AOFAS post	88	n.m.	81% > 80 Punkte	78
Verbesserung	36	n.m.	n.m.	n.m.
Alter der Patienten	54	53,1	44	57,7
M:W	n.m.	6:26	n.m.	0:66

Closed wedge Basisosteotomie

Tab. 6-4 gibt wichtige Parameter bisher veröffentlichter closed wedge Basisosteotomien wieder. Die aktuellste Studie ist die von Hamel und Stern [25], welche 2003 veröffentlicht wurde. Hamel und Stern [25], Resch et al. [61] und Wanivenhaus und Feldner-Busztin [81] fixierten die Osteotomie mit Schrauben oder Nägel, nur Rokkanen et al. [64] verwendeten zur Fixierung eine Osteosyntheseplatte. Diese wurde aber nicht lateral, wie in der

vorliegenden Studie sondern medial am ersten Metatarsale angebracht. Der Vorteil, der von uns angewendeten Operationstechnik ist, dass durch die lateral angebrachte Osteosyntheseplatte ein Zuggurtungseffekt auf den Osteotomiespalt ausgeübt werden kann, und so die Gefahr eine Pseudoarthrose minimiert wird. Durch die Verwendung einer Osteosyntheseplatte wird eine höhere Stabilität erzeugt, was eine frühere Mobilisation der Patienten im Entlastungsschuh ermöglicht. Ein häufig erwähnter Nachteil der Basisosteotomie ist die Verkürzung des ersten Metatarsale und die daraus resultierende Überbelastung der lateralen Mittelfußköpfchen.

Wir registrierten in elf Fällen (12,8%) eine Verstärkung der Metatarsalgie, Hamel und Stern in einem Fall (4%). Bei Resch et al. bekamen fünf Patienten (18,5%) nach der Operation Schmerzen unter den lateralen Metatarsalköpfchen, bei Wanivenhaus waren es sieben Patienten (27%). Keine der vorliegenden Studien konnte statistisch einen Zusammenhang zwischen der Verstärkung der Metatarsalgie und der Verkürzung bzw. der Dorsalabkippung des ersten Metatarsale feststellen. Auch liegen diese Werte nicht über den in anderen Studien angegebenen Werten (s. Seite 86).

Tab. 6-4 Fünf closed wedge Basisosteotomien im Vergleich
 HVW = Hallux valgus Winkel, IMW = Intermetatarsal Winkel, n.m. = keine Daten vorhanden

	Hamel und Stern [25]	Resch et al. [61]	Rokkanen et al. [64]	Wanivenhaus et al. [81]	Eigene
HVV prä. (°)	37,5	31	33,2 (liegend)	33,7	36,4
HVV post (°)	8,5	18	17,7 (liegend)	16,8	14,3
Korrektur (°)	29	13	15,5	16,9	22,1
IMW prä. (°)	14,8	13	14,8 (liegend)	18,9	17,6
IMW post (°)	5,2	10	9,3 (liegend)	10	6,5
Korrektur (°)	9,6	3	5,5	8,9	11,1
MT ₁₋₂ -Distanz prä. (mm)	17,7 (liegend)	30	13,7 (liegend)	n.m.	32,6
MT ₁₋₂ -Distanz post (mm)	n.m.	28	10,2 (liegend)	n.m.	27,0
MT-I Verkürzung	n.m.	4,7%	n.m.	3,6 mm [9;1]	3,2 mm
Anzahl der Füße	26	27	52	26	86
Follow-up (Monate)	20	37	18	34	52
Alter der Patienten (y)	53,1	46	34	33	57,7

Eine Basisosteotomie ist, wie Mann und Coughlin [49] schreiben, indiziert bei einem IM-Winkel größer 15°. Pinney et al. [59] zeigten, dass die zu den am häufigsten angewandten Basisosteotomie die Ludloff Osteotomie, die Crescentic Osteotomie und die basale Chevron Osteotomien sind. Wie im Vorhergehenden gezeigt werden konnte, erzielt die closed wedge Basisosteotomie mit Plattenfixation vergleichbar gute Ergebnisse und liegt mit einer IM-Winkel Korrektur von 11,1° weit über dem Durchschnitt der von Pinney et al. genannten Operationen.

Eine Studie der closed wedge Basisosteotomie mit einer Nachbeobachtungszeit länger als 37 Monate (Resch et al. [61]) und einer Fallzahl größer als 52 Füße (Rokkanen et al. [64]) ist bisher nach unserem Wissen nicht veröffentlicht worden. Die vorliegende Studie mit einer Nachbeobachtungszeit von 54 Monaten und einer Fallzahl von 86 Füßen, schließt die Lücke zu zahlreichen Studien anderer Operationstechniken und bietet somit einen sinnvollen Vergleichswert zur Beurteilung des Operationsergebnisses.

Verkürzung des ersten Metatarsale und die Inzidenz der Transfermetatarsalgie

Eine Schwachstelle der closed wedge Basisosteotomie ist – so Kummer [45] – die Verkürzung des Metatarsale I. Wir maßen bei 50 Füßen (siehe Kapitel 4.2.7) in der Nachuntersuchung eine durchschnittliche Verkürzung dieses Knochens von 3,2 mm im Vergleich zum präoperativen Befund. Diese ist etwas ausgeprägter als die Verkürzung die Mann et al. in ihrer Studie gemessen haben (2 mm). Zettl et al. registrierten hingegen in ihrer Studie auch eine Verkürzung von 3 mm. Somit weicht das Maß der Verkürzung durch die closed wedge Basisosteotomie nur wenig von dem ab, was auch bei anderen Basisosteotomien (z.B. Crescentic Osteotomie) gemessen wird. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das bogenförmig gestaltete Sägeblatt beim Sägeschnitt durch die stärkere Vibration zu einem größeren Sägedefekt am Knochen führt. Ob der Unterschied zur Untersuchung von Mann et al. signifikant ist, konnte anhand der vorliegenden Daten der Publikation nicht überprüft werden. Dies ist aber unwahrscheinlich weil die Streuung in beiden Untersuchungen relativ groß ist (SD von 3,2mm in der eigenen Studie, Spanne bei Mann et al. von -12 bis +3mm)

In Kapitel 4.2.7 konnte ebenfalls gezeigt werden, dass die Entstehung einer Transfermetatarsalgie statistisch nicht in Verbindung mit der Verkürzung des ersten Mittelfußknochen steht. Auch Zettl et al., die bei fünf Patienten eine Verkürzung von mindestens 7 mm gemessen haben, konnten bei keiner dieser Patienten eine neu entstandene Metatarsalgie feststellen. Mann et al. [50] behaupten zwar, dass es einer der größten Fehler bzw. Fallen wäre, den ersten Mittelfußknochen zu verkürzen, konnten diese Behauptung aber nicht anhand ihrer Ergebnisse bestätigen.

Allen et al. [1] maßen bei einer Analyse von 29 Füßen, an denen eine Wilson Osteotomie durchgeführt wurde – mit der gleichen Messmethode, wie sie auch in dieser Studie verwendet wurde – eine Verkürzung des ersten Metatarsale von durchschnittlich 7 mm. In ihrem Patientenkollektiv wurde postoperativ eine deutlich verstärkte Klavusbildung unter dem zweiten und dritten Mittelfußköpfchen festgestellt, was Allen et al. auch auf die Verkürzung zurückführen. Die Verkürzung führt dazu, dass das erste Mittelfußköpfchen weniger belastet wird und folglich die übrigen Metatarsalia mehr Gewicht tragen müssen. Resch et al. [61] konnten in ihrer Studie von 27 Füßen keine Verbindung zwischen dem Ausmaß der

Verkürzung und der Ausprägung einer Metatarsalgie feststellen. Dem entspricht auch das Ergebnis der Studie von Harris und Beath aus dem Jahre 1949 [27], in der 1391 Soldaten der kanadischen Armee untersucht wurden. Sie zeigten, dass die Klavusbildung bzw. Schmerzen unter den Metatarsalköpfchen zwei bis vier keineswegs bei den Füßen häufiger waren, die ein – im Vergleich zum zweiten Metatarsale – kurzes erstes Metatarsale hatten. Zum anderen fanden sie bei den Füßen mit kurzem ersten Metatarsale keinen radiologischen Hinweis auf eine Verdickung des zweiten Metatarsale, was für eine vermehrte Belastung dieses Knochens sprechen würde. All diese Ergebnisse sprechen gegen die 1935 von Morton aufgestellten Thesen [52], welche die biomechanischen, klinischen und radiologischen Konsequenzen eines kurzen ersten Metatarsale primär nachvollziehbar darstellen. Seiner Meinung nach erreicht ein kurzer erster Mittelfußknochen den Boden nicht im gleichen Ausmaß wie es dem längeren zweiten Mittelfußknochen möglich ist, was ihn folglich daran hindert, das Körpergewicht ausreichend zu tragen und somit die Last auf den zweiten und dritten Mittelfußknochen übertragen wird. Daraus resultieren – seiner Meinung nach – die bekannten Probleme wie Metatarsalgie und Klavusbildung. Harris und Beath [27] konnten aber zeigen, dass diese theoretischen Schlussfolgerungen nicht der Realität entsprechen.

In der vorliegenden Studie konnte, wie auf Seite 86 bereits beschrieben, keine Assoziation zwischen der Verkürzung des ersten Metatarsale und der Entstehung einer Metatarsalgie gefunden werden. Ebenso fanden Bednarz und Manoli [7] keine Korrelation zwischen diesen beiden Variablen.

Toth et al. [75] konnten 2007 allerdings zeigen, dass eine Verbindung zwischen der Verkürzung des ersten Metatarsale und der Entstehung einer Metatarsalgie besteht. Es bestand eine positive Korrelation zwischen der Metatarsalgie unter den zweiten bis vierten Mittelfußköpfchen und der Verkürzung des ersten Mittelfußknochens, die signifikant war. Diese Studie ist ein statistischer Anhaltspunkt für die Verbindung zwischen der Metatarsale-I-Verkürzung und der Entstehung einer Metatarsalgie. Es ist denkbar und eine Weiterführung von Mortons Gedanken, dass nicht die absolute Länge des ersten Metatarsale die entscheidende Variable ist, sondern dass die Veränderung dieser Länge ein entscheidender Faktor in der Entstehung der Metatarsalgie ist. In unserer Studie ergab die Verbindung dieser beiden Parameter zwar keine signifikante Korrelation, dennoch sollte, wie auch Toth et al. [75] schließen, die Verkürzung des Metatarsale I bei einer Operation so gering wie möglich sein.

Elevation des ersten Metatarsale und die Inzidenz einer Transfermetatarsalgie

Ebenfalls als Risikofaktor für die Entstehung einer Metatarsalgie wird die Dorsalabkipfung des ersten Metatarsale angesehen. Mit einem medialen Längsgewölbe-Winkel von $22,7^\circ$

liegt die Basisosteotomie im Bereich dessen, was bei zwei der fünf Lapidus Studien [7, 44], gemessen wurde (s. Tab. 6-2). In keiner der vorliegenden Studien konnte die Dorsalabkippung des ersten Metatarsale als Ursache für die Entstehung einer Metatarsalgie gefunden werden.

Mann et al. behaupten, dass es einer der größten Fehler bzw. Fallen wäre, das Metatarsale I durch die Osteotomie zu dorsalex tendieren, da dies ihrer Meinung nach zu Transfermetatarsalgien führt. Diese Behauptung hält aber ihren eigenen Ergebnissen nicht stand. Bei den 109 Füßen, die sie untersucht haben, stellten sie in 28% der Fälle eine Dorsalex tension des ersten Metatarsale fest. Wie sie selber weiter schreiben, beeinflusste diese Dorsalex tension die Prävalenz der Transfermetatarsalgie nicht ([50] S. 128).

Der mediale Längsgewölbe-Winkel betrug in unserem Patientenkollektiv $22,7^\circ$. Wie in Abschnitt 4.2.9 gezeigt, konnte keine Verbindung zwischen der Entstehung einer Transfermetatarsalgie und dem postoperativen medialen Längsgewölbe-Winkel hergestellt werden. Da es uns nicht möglich war, den präoperativen medialen Längsgewölbe-Winkel zu bestimmen, kann anhand der gemessenen Daten keine Aussage darüber gemacht werden, ob eine Vergrößerung bzw. Verkleinerung des medialen Längsgewölbe-Winkels durch die Operation die Entstehung einer Metatarsalgie begünstigt.

Zettl et al. stellten in ihrer Studie fest, dass durch die Operation in 9% der Fälle ($n=8$) eine Dorsalex tension des ersten Metatarsale aufgetreten ist. Das Ausmaß der Dorsalex tension lässt sich anhand ihrer Daten nicht feststellen. Dennoch registrierten auch sie bei den acht Fällen nur in einem Fall eine neu entstandene Metatarsalgie. Das heißt, dass $1/8$ der Patienten, bei denen postoperativ eine Dorsalabkippung des ersten Mittelfußknochens registriert wurde, eine Metatarsalgie entwickelten. Im Vergleich dazu entwickelte sich im ganzen Patientenkollektiv der Studie von Zettl et al. [85] bei 8% der Patienten postoperativ eine Metatarsalgie. Dies ergibt eine von uns errechnete Odds Ratio von 1,7. Somit lässt sich auch anhand der Daten aus dieser Studie sagen, dass die Dorsalabkippung des ersten Metatarsale durch die Operation das Risiko einer Transfermetatarsalgie statistisch nicht wirklich erhöht.

Ein weiteres Indiz dafür, dass die Dorsalabkippung des ersten Metatarsale das Risiko einer Transfermetatarsalgie nicht erhöht, ist, dass sich bei Mann et al. [50] keine Transfermetatarsalgien neu entwickelten, obwohl bei ihnen die Inzidenz einer Dorsalabkippung am höchsten war (verglichen mit den Daten von Zettl et al. [85] und den eigenen Daten). In der Studie von Mann et al. wurde präoperativ bei 48 Füßen eine Metatarsalgie diagnostiziert, die in 62,5% der Fälle ($n=30$) durch die alleinige Korrektur der Hallux valgus Fehlstellung beseitigt wurde.

Einfluss der Operationstechnik und der postoperativen Entlastungszeit auf degenerative Veränderungen der Gelenkflächen und die Beweglichkeit im MTP-Gelenk

Wir maßen 52 Monate postoperativ bei 31 Füßen (36%) eine Zunahme degenerativer Veränderungen. Davon bei 23 Füßen (27%) eine Zunahme um ein Grad und bei acht Füßen (9%) eine Zunahme um zwei Grade. Wie in Abschnitt 4.2.12 ausgeführt, konnte statistisch kein Grund für das Voranschreiten bzw. für die unterschiedliche Ausprägung der Arthrose gefunden werden. In Abschnitt 4.2.12 wurde zudem getestet, ob das Voranschreiten der Gelenkdegeneration zu einer Verschlechterung des klinischen Ergebnis (repräsentiert durch den AOFAS Score) führte. Es konnte gezeigt werden, dass die Mittelwerte des Scores bei zunehmender Gelenkdegeneration kleiner werden. Die Minderung des Scores war jedoch nicht signifikant. Eine Zunahme degenerativer Veränderungen am Gelenk bemerkten Zettl et al. [85] 26 Monate postoperativ bei 10 Füßen (12%). Aus den gegebenen Daten lässt sich leider nicht erkennen, wie viele Patienten postoperativ tatsächlich arthrotische Veränderungen aufwiesen; dennoch lässt sich sagen, dass die angegebenen Werte unter denen unserer Studie liegen.

Bei Mann et al. [50] ergab die Messung der Gelenkdegeneration, dass präoperativ 74% der Füße keine Zeichen einer Arthrose aufwiesen und postoperativ bei 19% eine Steigerung um ein Grad und bei 5% eine Steigerung um zwei Grade stattfand. Sie konnten in ihrem Patientengut keine Verbindung zwischen der Gelenkdegeneration und dem subjektiven Befinden erkennen. Insgesamt ergibt dies eine Zunahme degenerativer Veränderungen von 24%. Auch dieses Ergebnis liegt weit über dem von Zettl et al..

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass im Rahmen dieser Studie keine definitiven Ursachen für das Voranschreiten der Arthrose im MTP-Gelenk gefunden werden konnten, dennoch war eine Tendenz erkennbar, dass der zunehmende Gelenkverschleiß das klinische Ergebnis negativ beeinflusst. Es muss wohl davon ausgegangen werden, dass der ausgedehnte Weichteileingriff am Großzehengrundgelenk ausreicht, die Arthrose zu fördern. Aufgrund der Kapselraffung herrscht postoperativ ein höherer Druck innerhalb des Gelenkes. Hinzu kommt, dass nach einem Weichteileingriff der Druck innerhalb des Gelenkes nicht gleichmäßig verteilt sein könnte. Dies würde zu punktförmigen sehr hohen Belastungen des Gelenkknorpels führen.

Ein weiterer Grund für die postoperativ gehäuft auftretende Arthrose ist, dass präoperativ bei subluxiertem Gelenk der mediale Knorpelanteil des ersten Mittelfußköpfchens und der laterale Knorpelanteil der Phalanxbasis einer nur geringen Belastung ausgesetzt sind. Postoperativ werden diese Knorpelanteile wieder voll belastet, was sie aufgrund der vorherigen Minderbelastung nicht tolerieren und degenerieren.

Ebenfalls eine mögliche Ursache für die postoperative Zunahme arthrotischer Veränderungen im MTP-Gelenk ist, dass der Weichteileingriff teilweise nicht ausreichend bzw. nicht stabil ist und die Gelenkflächen postoperativ weiterhin inkongruent bzw. subluxiert stehen und es somit, aufgrund der permanenten Fehlstellung des Gelenkes, zu degenerativen Veränderung im Gelenk kommt. Zudem fällt auf, dass das Durchschnittsalter der Patientinnen zum Zeitpunkt der Operation mit 58 Jahren überdurchschnittlich hoch ist. Dies könnte ein weiterer Grund für die vorangeschrittene Gelenkdegeneration sein.

Der durchschnittliche Bewegungsumfang des MTP-Gelenkes in unserem Patientenkollektiv betrug 43°. Mann et al. [50] maßen bei ihren Patienten einen durchschnittlichen Bewegungsumfang (Plantarflexion + Dorsalextension) im MTP-Gelenk von 64°. Wie in Kapitel 4.1.5 geschildert, gaben nur zwei Patientinnen an, dass sie der geringe Bewegungsumfang störe. Hopson et al. [31] berichten, dass zum normalen Gehen eine Dorsalextension des MTP-Gelenkes von mindestens 50° notwendig sei. Die von uns gemessenen Daten liegen somit unter den Mindestanforderungen, die an dieses Gelenk gestellt werden. Wie in Kapitel 4.1.5 gezeigt werden konnte, besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Bewegungsumfang und dem Grad der Gelenksdegeneration. Da in unserem Kollektiv postoperativ ein hoher Anteil der Patientinnen eine Zunahme arthrotischer Veränderungen aufwies, könnten die oben genannten Ursachen für das Vorschreiten der Knorpeldegeneration auch auf das postoperative Bewegungsausmaß einen Einfluss haben. Es empfiehlt sich somit, den distalen Weichteileingriff so zu modifizieren, dass die oben genannten Ursachen für die degenerative Gelenkveränderung reduziert werden. Hierbei ist zum Beispiel ein Ansatz, die ausgedünnte mediale Kapsel zu verstärken, indem man bei der Kapselnaht eine Verdoppelung des medialen Kapselanteils vornimmt. Dadurch versucht man einem erneuten Abweichen im MTP-Gelenk entgegen zu wirken. Ein weiterer Ansatz ist, die postoperative Entlastungszeit zu verlängern, um den gereizten Weichteilen mehr Zeit zur Regeneration zu geben, sodass sie wieder eine höhere Stabilität erlangen können.

Die Phase, in welcher der Patient schrittweise den ersten Strahl wieder belasten kann und die Mobilität des MTP-Gelenkes gesteigert wird, ist bezüglich der Länge zwischen allen hier aufgeführten Studien sehr verschieden. Tab. 6-5 gibt einen Überblick über den Zeitverlauf der postoperativen Phase in den verschiedenen Studien. Die Daten entsprechen den Vorgaben der Autoren. Das heißt – am Beispiel der Kategorie „Vollbelastung nach...“ erklärt – dass der Autor vorgibt, wann der Patient den Vorfuß wieder voll belasten kann. Ob der Patient ab diesem Zeitpunkt auch wirklich den Vorfuß wieder voll belastet, geht aus den Daten nicht hervor. Für zukünftige Studien, wäre es interessant diesem Aspekt genauer

nachzugehen. Hierbei wäre zum einen von Interesse, ab welchem Zeitpunkt Patienten das Gefühl haben, den Vorfuß wieder unbeschränkt belasten zu können, zum anderen wäre auch interessant, ob und in welcher Form unterschiedliche Entlastungszeiten einen Korrekturverlust beeinflussen.

Wie der Tab. 6-5 entnommen werden kann, variieren die Angaben zwischen den einzelnen Studien sehr. Nach zwei Tagen postoperativ war es den Patienten in unserer Studie erlaubt, den Fuß im Vorfuß-Entlastungsschuh voll zu belasten und nach sechs Wochen war die Vollbelastung ohne Entlastungsschuh möglich. Die frühe Mobilisation des Fußes senkt unter anderem das Risiko der Entwicklung einer Thrombose oder einer Infektion und führt durch frühe Muskelbelastung zu geringerem Muskelabbau, was die Rehabilitation erheblich verkürzt. Rokkanen et al. [64] empfehlen eine Immobilisation des Fußes im Gipsschuh für drei Wochen und anschließend für drei weitere Wochen im Gehgips und Wanivenhaus und Feldner-Busztin [81] eine Immobilisation für eine Woche in der Gipsschiene und anschließend für fünf Wochen im Gehgips. Unter einer derart langen Immobilisation ist nicht nur das Risiko für oben genannte Komplikationen höher, sondern leidet auch die Lebensqualität der Patienten.

Catanzariti et al. [11] gaben nach einer Lapidusarthrodese den Patienten eine Entlastungszeit von sechs bis zehn Wochen vor, während Mann et al. [50] nach einer Crescentic Osteotomie die Patienten unbeschränkt den Vorfuß belasten ließen. Die Patienten sollten hierbei lediglich Schuhe verwenden, die eine steife Sohle haben, um eine Dorsalextension der Zehen zu vermeiden. In der vorliegenden Studie wurde den Patienten empfohlen, den Vorfuß – wie in Kapitel 3.2.2 geschildert – am Operationstag nicht zu belasten. Eine ähnlich frühe Mobilisation ist auch – wie Metzdorf und Strehle sowie Rink-Brüne zeigen – nach der Lapidusarthrodese [51, 63] und wie bereits erwähnt nach der Crescentic Osteotomie möglich [50, 85]. Hamel und Stern [25] zeigten, dass nach einer closed wedge Basisosteotomie die Mobilisation am ersten postoperativen Tag möglich ist. Die Ergebnisse von Hamel und Stern sowie die Daten aus der vorliegenden Studie belegen, dass die Patienten nach einer closed wedge Basisosteotomie eine nur kurze Entlastungszeit benötigen und eine frühe postoperative Mobilisation durchführbar ist.

Tab. 6-5 Vergleich der unterschiedlichen Studien hinsichtlich des postoperativen Verlaufs. Verglichen wurden v.a. der Zeitpunkt der Mobilisation und die Länge der Entlastung. Die angegebenen Daten entsprechen den Vorgaben der genannten Autoren.
n.m. = keine Daten vorhanden, d = Tage

	Entlastungszeit (in Wochen)	Entlastung durch	Gipsabnahme nach (in Wochen)	Mobilisation nach	Vollbelastung nach (in Wochen)
closed wedge BO	2 d	Entlastungsschuh	/	1 d	6
Bednarz & Manoli [7]	2	n.m.	n.m.	n.m.	6-8
Borton & Stephens [8]	2	Gipsschuh	6	6 w	6
Catanzariti et al. [11]	6-10	Gipsschuh	n.m.	1-2 w	n.m.
Hamel und Stern [25]	0	Entlastungsschuh	/	1 d	6
Kopp et al. [44]	6-8	Gipsschuh	n.m.	6-8 w	n.m.
Manjure et al. [48]	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.
Mann et al. [50]	0	/	/	1 d	n.m.
Metzdorf und Strehle [51]	6	/	/	1 d	n.m.
Resch et al. [61]	6	Gippschiene/Orthese	3 → Orthese für 3 w	n.m.	6
Rink-Brüne [63]	6	/	/	1 d	n.m.
Rokkanen et al. [64]	6	Gipsschuh/-schiene	6	6 w	n.m.
Wanivenhaus et al. [81]	n.m.	Gipsschuh/-schiene	6	n.m.	n.m.
Zettl et al. [85]	n.m.	Entlastungsschuh	/	1 d	6-8

Die kurze Phase der Entlastung bzw. der Teilentlastung erfordert, dass die neuen Verhältnisse, die durch die Operation geschaffen werden, stabil sind. Die Stabilität der Basisosteotomie wird durch die lateral angebrachte Osteosyntheseplatte gewährleistet. Der distal durchgeführte Weichteileingriff mit Arthrolyse und anschließender medialer Kapselraffung, könnte bei früher Belastung noch instabil sein und folglich zu einem Korrekturverlust führen. Diese These bestätigen Kitaoka et al. [42], die bei 54 Füßen eine Pseudoexostosenabtragung mit anschließender Kapselraffung durchgeführt haben. Bei 22 Füßen dieses Kollektivs wurde zusätzlich noch eine laterale Teilresektion der Kapsel durchgeführt. Bei einem Nachuntersuchungszeitraum von durchschnittlich 4,8 Jahren vergrößerte sich der HV-Winkel von präoperativ 30,1° auf postoperativ 34,9°. Der IM-Winkel vergrößerte sich von präoperativ 12,2° auf postoperativ 13,9°. In der Gruppe, bei der zusätzlich eine Teilresektion der Kapsel durchgeführt wurde, war die Vergrößerung des HV-Winkels nicht so gravierend, aber immer noch vorhanden.

Die Frage, die sich stellt, ist ob eine Modifikation der Kapselraffung, z.B. durch Verdoppelung des medialen Kapselanteils, einen Korrekturverlust verhindern kann, oder ob die postoperative Entlastungszeit verlängert werden sollte, bis die Kapsel des MTP-Gelenkes ausreichend stabil ist. Für spätere Studien wäre es interessant zu untersuchen, in welchen Zeitraum nach einer Hallux valgus Operation der Korrekturverlust am größten ist. Würde sich beispielsweise der HV-Winkel in den ersten acht Wochen postoperativ bei frühzeitiger Belastung stark vergrößern, wäre dies ein Indiz dafür, dass eine längere Entlastungsphase nach der Operation den Langzeiteffekt der Operation verbessern könnte.

Zum Schluss wird noch auf einen Punkt des A.O.F.A.S. Scores [41] eingegangen. Bei der Durchsicht der deutschsprachigen Literatur ist aufgefallen, dass die Interpretation des Punktes „*Callus related to hallux MTP-IP*“ nicht eindeutig bzw. nicht korrekt ist. Es findet sich sowohl die Deutung als Exostose (in der Doktorarbeit von A. Schnabel im Jahr 2002 [68]) als auch die Deutung als Kallus (Doktorarbeit von A. Feitenhansl im Jahr 2003 [21]). Petroutsas und Trnka [57] übersetzen den Punkt ebenfalls als Kallus und berichten im gleichen Artikel über vermehrte postoperative Kallusbildung (Seite 114). Ebenfalls zeigen sie eine Röntgenaufnahme eines operierten Fußes, in der sie auf einen Kugelkallus aufmerksam machen. Das Lehrbuch *Orthopädie* von Niethard und Pfeil [54] definiert den Begriff Kallus im engeren Sinne als Knochenschwiele. *Callus* kann aus dem Englischen sowohl als Knochen- wie auch als Hornhautschwiele (in Sinne eines Klavus) übersetzt werden. Aus zwei Gründen haben wir in dieser Arbeit den *callus* als Klavus interpretiert.

1. Die restlichen Aspekte des A.O.F.A.S. Scores beinhalten keine radiologischen Merkmale. Eine Knochenschwiele wäre nur radiologisch feststellbar und würde somit eine Sonderposition innerhalb des Scores einnehmen. Kitaoka et. al [41] schreiben zudem auf Seite 349, dass der Score keine radiologischen Faktoren beinhaltet.
2. Eine symptomfreie Knochenschwiele am Gelenk ist im Vergleich zu einem symptomfreien Klavus relativ untypisch. Eine Knochenschwiele entsteht meist auf dem Boden einer pathologischen Belastung im Gelenk.

Auch die Nachfrage bei einem der Autoren des 1994 veröffentlichten Scores [41] bestätigte diese Interpretation.

7 Zusammenfassung

Für diese Studie wurden 66 Patientinnen (86 operierte Füße), die zwischen 1998 und 2004 von einem Chirurgen am ersten Metatarsale mit einer closed wedge Basisosteotomie zur Korrektur einer Hallux-valgus-Fehlstellung operiert wurden, klinisch und radiologisch nachuntersucht.

Anhand dorso-plantarer und seitlicher Röntgenaufnahmen wurde der HV-Winkel, der IM-Winkel, der distale metatarsale Gelenkflächenwinkel, die Kongruenz und die Subluxation im MTP-Gelenk, der mediale Längsgewölbe-Winkel, der HVI-Winkel, die Sesambeinposition, die Verkürzung des ersten Metatarsale sowie die Distanz zwischen ersten und zweiten Metatarsale sowie zwischen ersten und fünften Metatarsale gemessen. Zudem wurden die klinischen Daten in Form des *Hallux Metatarsophalangeal-Interphalangeal Scores* der AOFAS [41] und des *forefoot scoring system (FFSS)* der *Mayo Clinic* [43] wiedergegeben. Die erhobenen Daten wurden statistisch mithilfe geeigneter Tests ausgewertet.

Die folgenden sieben Punkte fassen die wichtigsten Ergebnisse zusammen:

1. Die closed wedge Basisosteotomie ist indiziert bei Patienten mit moderatem bis schweren Hallux valgus.
2. Das mit der closed wedge Basisosteotomie erzielte Operationsergebnis wurde von 95,5% der Patienten als sehr zufrieden stellend oder zufrieden stellend bewertet.
3. Der HV-Winkel konnte durchschnittlich um $22,1^\circ$ von präoperativ $36,4^\circ$ auf postoperativ $14,3^\circ$ und der IM-Winkel um $11,1^\circ$ von $17,6^\circ$ auf $6,5^\circ$ reduziert werden. Die Höhe der Winkelkorrektur sowie das Langzeitergebnis sind wichtige Kriterien für den Erfolg der Therapie eines moderaten bis schweren Hallux valgus. In beiden Kriterien ist die closed wedge Basisosteotomie im Vergleich mit gängigen Operationsmethoden überdurchschnittlich.
4. Von den 86 operierten Füßen entwickelten postoperativ 11 Füße eine Metatarsalgie. In diesen Fällen konnte keine verstärkte Dorsalabkippung oder Verkürzung des ersten Metatarsale festgestellt werden. Dies bedeutet, dass entgegen der theoretischen biomechanischen Annahme die closed wedge Basisosteotomie nicht zu einer vermehrten Transfermetatarsalgie führt. Dies wird durch andere Studien zur closed wedge Basisosteotomie bestätigt.
5. Die Patienten konnten drei Tage nach der Operation den Fuß im Vorfuß-Entlastungsschuh nach Toleranz wieder voll belasten. Diese Entlastungszeit ist im Vergleich zur Literatur deutlich kürzer. Die kurze Entlastungsphase ist auf Grund der stabilen postoperativen Situation möglich, die durch die erhaltene mediale

Corticalis bzw. durch das mediale Periost und der stabilen Plattenfixation gewährleistet wird. Diese verhindert auch weitgehend eine Dorsalabweichung des ersten Metatarsale. Der limitierende Faktor ist in diesem Fall eine höhergradige Osteoporose.

6. Ein unterdurchschnittliches Ergebnis erzielte die closed wedge Basisosteotomie im A.O.F.A.S. Score. Es wurde postoperativ eine durchschnittliche Punktzahl von 78 ermittelt. Eine mögliche Ursache hierfür könnte in der Schuhwahl liegen, was anhand eines Beispiels gezeigt wurde.

Im Forefoot Scoring System der Mayo-Klinik erzielte die Basisosteotomie von 75 möglichen Punkten eine durchschnittliche Punktzahl von 57. Hier beeinflusst ebenfalls der Punkt der Schuhwahl das Ergebnis.

7. Die postoperative Beweglichkeit des MTP-Gelenkes war im Vergleich zu Normwerten und zu anderen Studien deutlich reduziert. Der durchschnittliche Bewegungsumfang des MTP-Gelenkes war $42,9^\circ$. Es konnte gezeigt werden, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Bewegungseinschränkung und dem Grad der Knorpeldegeneration im MTP-Gelenk besteht. Es wurden Ursachen für das postoperative Voranschreiten arthrotischer Veränderungen diskutiert und Therapievorschläge gemacht, die das Voranschreiten einer Arthrose verlangsamen könnten. Zum Einen die Modifikation des distalen Weichteileingriffs mit Doppelung der Kapselnaht des medialen Kapselanteils, was einem erneuten Abweichen im MTP-Gelenk entgegen wirkt, zum Anderen die Verlängerung der postoperativen Entlastungszeit.

Aufgefallen ist, dass das durchschnittliche Alter der Patientinnen zum Zeitpunkt der Operation mit 58 Jahren deutlich über dem Durchschnitt vergleichbarer Studien lag. Dies könnte ein Grund für die weiter vorangeschrittene degenerative Gelenkveranderung und die daraus resultierende Bewegungseinschränkung sein. Umgekehrt könnte auch das – durch das Alter bedingte – eingeschränkte Bewegungsma eine Ursache für die vorangeschrittene degenerative Gelenkveranderung sein. Nur zwei von 66 Patientinnen beklagten eine eingeschränkte Beweglichkeit im MTP-Gelenk.

Literaturverzeichnis

1. Allen T. R., Gross M., Miller J., Lowe L., Hutton W. C. The assessment of adolescent hallux valgus before and after first metatarsal osteotomy. *International Orthopaedics* (1981): 111-115
2. Anderson T. A mediaeval case of bilateral metatarsus primus varus with analysis of its anatomy and allied deformities. *The Foot* 13 (2003): 156-165
3. Appel M., Wetzel R., Hess G., Schwarzkopf S., Puhl W. Der Sesambeinkomplex und die Hallux valgus-Deformität. Eine retrospektive Analyse von 82 Mitchell-Osteotomien. *Z Orthop* 134 (1996): 524-532
4. Balacescu J. Un caz de hallux valgus simetric. *Rev Chir* 7 (1903): 128-135
5. Baravarian B., Green D. R., Kim P. Point-Counterpoint: Should the Lapidus replace the closing base wedge osteotomy. *Podiatry Today* (2006):
6. Basile A., Battaglia A., Campi A. Retrospective analysis of the Ludloff osteotomy for correction of severe hallux valgus deformity. *Journal of Foot and Ankle Surgery* 7 (2001): 1-8
7. Bednarz P. A., Manoli A. Modified lapidus procedure for the treatment of hypermobile hallux valgus. *Foot Ankle Int* 21 (10) (2000): 816-821
8. Borton D. C., Stephens M. M. Basal metatarsal osteotomy for hallux valgus. *J Bone Joint Surg* 76-B (1994): 204-209
9. Calder J. D. F., Hollingdale J. P., Pearse M. F. Screw versus suture fixation of Mitchell's osteotomy. *Journal of bone and joint surgery* 81-B (1999): 621-624
10. Carr C. R., Boyd B. M. Correctional Osteotomy for metatarsus primus varus and hallux valgus. *Journal of Bone and Joint Surgery* 59-A (7) (1968): 1353-1367
11. Catanzariti A. R., Mendicino R. W., Lee M. S., Gallina M. R. The modified Lapidus arthrodesis: a retrospective analysis. *The Journal of Foot and Ankle Surgery* 38 (3) (1999): 322-332
12. Cedell C.-A., Mats A. Proximal metatarsal Osteotomy in hallux valgus. *Acta orthop scand* 53 (1982): 1013-1018
13. Cisar J., Holz U., Jenninger W., Uhlig C. [Ludloff's osteotomy in hallux valgus surgery]. *Aktuelle Traumatol* 13 (6) (1983): 247-249
14. Coughlin M. J. Hallux valgus. *The Journal of foot and ankle surgery* 78-A (6) (1996): 932-966
15. Coughlin M. J. Hallux valgus in men: effect of the distal metatarsal articular angel on hallux valgus correction. *Foot Ankle Int* 18 (8) (1997): 463-470
16. Coughlin M. J., Mann R. A. *Surgery of the foot and ankle*. Mosby, St.Louis, Baltimore, Boston, (1999)
17. Coughlin M. J., Saltzman C. L., Nunley J. A. I. Angular measurements in the evaluation of hallux valgus deformities: A report of the ad hoc committee of the American Orthopaedic Foot & Ankle Society on angular measurements. *Foot Ankle Int* 23 (2002): 68-74
18. David R. D., Delagoutte J. P., Renard M. M. Anatomical study of the sesamoid bones of the first metatarsal. *J Am Podiatr Assoc* 79 (1989): 536-544
19. Dreeben S., Mann R. A. Advanced hallux valgus deformity: long-term results utilizing the distal soft tissue procedure and proximal metatarsal osteotomy. *Foot Ankle Int* 17 (8) (1996): 142-144
20. Eustace S., Byrne J. O., Beausang O., Codd M., Stack J., Stephens M. M. Hallux valgus, first metatarsal pronation and collapse of the medial longitudinal arch--a radiological correlation. *Skeletal Radiol* 23 (3) (1994): 191-194
21. Feitenhansl A. Klinische und röntgenologische Ergebnisse nach operativer Therapie des Hallux valgus und Hallux rigidus in der Technik nach Keller-Brandes. (2003):
22. Gottschalk F. A. B., Sallis J. G., Beighton P. H., Solomon L. A comparison of the prevalence of hallux valgus in three South African populations. *S Afr Med J* 57 (1980): 355-357

23. Gsugen C., Walther M., Wlfel R., Vispo-Seara J. L. Die distale Chevron-Osteotomie zur Hallux Valgus-Korrektur: Analyse einer mittelfristigen klinischen, radiologischen und pedographischen Studie. *FussSprungg* 3 (2005): 164-171
24. Haines R. W., McDougall A. The anatomy of hallux valgus. *J Bone Joint Surg* 36-B (1954): 272-293
25. Hamel J., Stern T. Therapie-Studie zu Fragen der Osteosynthese, der MT-I-Verkürzung und der Transfermetatarsalgie bei MT-I-Basisosteotomie. *FussSprungg* 1 (2003): 139-142
26. Hardy R. H., Clapham J. C. R. Observations on hallux valgus. *J Bone Joint Surg* 33B (3) (1951): 376-391
27. Harris R. I., Beath T. The short first metatarsal. *J Bone Joint Surg* 31-A (3) (1949): 553-565
28. Helal B., Gupta S. K., Gojaseni P. Surgery for adolescent hallux valgus. *Acta orthop scand* 45 (1974): 271-295
29. Helal B., Wilson D. *The Foot*. Churchill Livingstone, Edinburgh, London, Melbourne, (1988)
30. Hetherington V. J. *Hallux valgus and forefoot surgery*. Churchill Livingstone, New York, Edinburgh, London, (1994)
31. Hopson M. M., McPoil T. G., Cornwall M. W. Motion of the first metatarsophalangeal joint - reliability and validity of four measurement techniques. *Journal of the American Podiatric Medical Association* 85 (4) (1995): 198-204
32. Hughes D. G. J., Klenerman L. A comparison of Wilson and Hohmann osteotomies in the treatment of hallux valgus. *Journal of Bone and Joint Surgery* 70-B (2) (1988): 236-241
33. Inman V. T. Hallux valgus: a review of etiologic factors. *Orthop Clin Norht Am* 5 (1974): 59
34. Johnson Further studies of the inheritance of hand and foot anomalies *Clinical Orthopedics* 8 (1956): 146-160
35. Juvara E. Nouvelle procedure pou-la cure radical du "hallux valgus". *Nouv Presse Med* 40 (1919): 395-397
36. Kato T., Watanabe S. The etiology of hallux valgus in Japan. *Clinical Orthopedics* 157 (1981): 78-81
37. Kelikian A. S. *Operative treatment of the foot and ankle* Appleton&Lange, Stamford, (1999)
38. Kelikian H. *Hallux valgus, allied deformities of the forefoot and metatarsalgia*. Saunders, Philadelphia, (1965)
39. Kilmartin T. E., Barrington R. I., Wallace W. A. Metatarsus primus varus. A statistical study. *Journal of Bone and Joint Surgery* 73 (B) (1991): 937-040
40. Kilmartin T. E., Barrington R. I., Wallace W. A. The x-ray measurement of hallux valgus: an inter- and intra-observer error study. *The Foot* 2 (1992): 7-11
41. Kitaoka H. B., Alexander I. J., Adelaar R. S., Nunley J. A., Meyerson M. S., Sanders M. *Clinical Rating Systems for the Ankle-Hindfoot, Midfoot, Hallux, and Lesser Toes*. *Foot Ankle Int* 15 (7) (1994): 349-353
42. Kitaoka H. B., Franco M. G., Weaver A. L., Ilstrup D. M. Simple bunionectomy with medial capsulorrhaphy. *Foot Ankle* 12 (2) (1991): 86-91
43. Kitaoka H. B., Holiday A. D., Campbell D. C. Distal chevron metatarsal osteotomy for bunionette. *Foot Ankle* 12 (1991): 80-85
44. Kopp F. J., Patel M. M., Levine D. S., Deland J. T. The modified Lapidus Procedure for hallux valgus: A clinical and radiographic analysis. *Foot Ankle Int* 26 (11) (2005): 913-917
45. Kummer F. J. *Mathematical Analysis of First Metatarsal Osteotomies*. *Foot Ankle* 9 (1989): 281-289
46. Lapidus P. W. A quarter of a century of experience with the operative correction of the metatarsus varus primus in hallux valgus. *Bull Hosp Joint Dis* 17 (1956): 404-421
47. Loison M. Note sur le traitement chirurgical de hallux valgus d'apres l'étude radiographique de la deformation. *Bull Mem Soc Chir Paris* 27 (1901): 528-531

48. Manjure S., Singh S., Koka R., Rajan N., D'Arcy J. Wilson's osteotomy for the treatment of Hallux Valgus: a review of 102 cases. *The Foot* 13 (2003): 140-142
49. Mann R. A., Coughlin M. J. Hallux valgus-Etiology, Anatomy, Treatment and Surgical Considerations. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 157 (1981): 31-41
50. Mann R. A., Rudicel S., Graves S. C. Repair of hallux valgus with a distal soft-tissue procedure and proximal metatarsal osteotomy. *J Bone Joint Surg* 74-A (1) (1992): 124-129
51. Metzendorf A., Strehle J. K. Early complications of the modified Lapidus procedure for hallux valgus treatment in adults. *The Foot* 11 (2001): 38-44
52. Morton D. J. *The human foot*. Columbia University Press, New York, (1935)
53. Mottershead S. Sesamoid bones and cartilage: an inquiry into their function. *Clin Anat* 1 (1988): 59-62
54. Niethard F. U., Pfeil J. *Orthopädie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, (2003)
55. Okuda R., Kinoshita M., Morikawa J., Yasuda T., Abe M. Proximal Metatarsal Osteotomy. *Clin Orthop Relat Res* 435 (2005): 191-196
56. Payr E. Hallux-valgus-Operation: Kapselbandexzision and der lateralen Seite des Gelenkes. *Zbl Chir* 41 (1925): 2292-2295
57. Petroutsas J., Trnka H. J. The Ludloff osteotomy for correction of hallux valgus. *Oper Orthop Traumatol* 17 (1) (2005): 102-117
58. Piggott H. The natural history of hallux valgus in adolescence and early adult life. *J Bone Joint Surg* 42 B (4) (1960): 749-760
59. Pinney S. J., Song K. R., Chou L. B. Surgical treatment of severe hallux valgus: the state of practice among academic foot and ankle surgeons. *Foot Ankle Int* 27 (12) (2006): 1024-1029
60. Pisani G. *Fußchirurgie*. dt Ausg., Stuttgart, New York, (1998)
61. Resch S., Stenström A., Egund N. Proximal closing wedge osteotomy and adductor tenotomy for treatment of hallux valgus. *Foot Ankle* 9 (6) (1989): 272-280
62. Richardson E. G., Graves S. C., McClure J. T., Boone R. T. First metatarsal head shaft angle - a method of determination. *Foot Ankle* 14 (1993): 181-185
63. Rink-Brüne O. Lapidus Arthrodesis for Management of Hallux Valgus-A Retrospective Review of 106 Cases. *The Journal of Foot and Ankle Surgery* 43 (5) (2004): 290-295
64. Rokkanen P., Isolauri J., Avikainen V., Tervo T., Vaherto H. Basal osteotomy of the first metatarsal bone in hallux valgus - Experiences with the use of AO plate. *Archives of Orthopaedic and Traumatic Surgery* 92 (1987): 233-235
65. Rosenbaum d. B. S. The first metatarso-sesamoid joint. *International Orthopaedics* 6 (1982): 61-67
66. Saffo G., Wooster M. F., Stevens M., Desnoyers R., Catanzariti A. R. First metatarsocuneiform joint arthrodesis: a five-year retrospective analysis. *The Journal of Foot and Ankle Surgery* 28 (1989): 459-465
67. Samojla B. G. Normal anatomy of the forefoot. In: Hetherington VJ (ed) *Hallux valgus and forefoot surgery*. Churchill Livingstone, New York (1994), p 7-37
68. Schnabel A. Langzeitergebnisse der operativen Behandlung des Hallux valgus nach der Technik von Keller und Brandes. (2002):
69. Scranton P. E. Current concepts review: principles in bunion surgery. *J Bone Joint Surg* 65 A (1983): 1026-1028
70. Scranton P. E., Rutkowski R. Anatomic variations in the first ray: Part I. Anatomic aspects related to bunion surgery. *Clinical Orthopaedics* 151 (1980): 244-255
71. Shereff M. J., Ming Y. Q., Kummer F. J. Extraosseous and intraosseous arterial supply to the first metatarsal and metatarsophalangeal joint. *Foot Ankle* 8 (1987): 81-93
72. Sim-Fook L., Hodgson A. R. A comparison of forms among the non-shoe and shoe-wearing Chinese population. *Journal of Bone and Joint Surgery* 40-A (1958): 1058-1062
73. Smith R. W., Reynolds C. J., Stewart M. J. Hallux valgus assessment: Report of research committee of American Orthopaedic Foot and Ankle Society. *Foot Ankle* 5 (2) (1984): 92-103

74. Torkki M., Seitsalo A. M. S., Hoikka V., Laippala P., Paavolainen P. Surgery vs Orthosis vs Watchful Waiting for Hallux valgus. *Journal of the American Medical Association* 285 (19) (2001): 2474-2480
75. Toth K., Huszanyik I., Kellermann P., Boda K., Rode L. The effect of first ray shortening in the development of metatarsalgia in the second through fourth rays after metatarsal osteotomy. *Foot Ankle Int* 28 (1) (2007): 61-63
76. Tourné Y., Picard F., Saragaglia D. Pathology of the first ray; Hallux valgus. In: Bouysset M (ed) *Bone and Joint Disorders of the Foot and Ankle*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York (1998), p 183-198
77. Trnka H.-J., Hofstätter S. Die modifizierte Lapidus-Arthrodesse. *Orthopade* 34 (2005): 735-741
78. Truslow W. Hallux valgus and metatarsus varus? *Journal of bone and joint surgery* 7 (1925): 98-108
79. Viladot A. Überlegung bezüglich der operativen Behandlung des Hallux valgus und der Hammerzehen. *Orthopade* 11 (1982): 162-169
80. Volkmann R. Über die sogenannte Exostose der großen Zehe. *Virchows Arch Pathol Anat* 10 (1856): 297-306
81. Wanivenhaus A. H., Feldner-Busztin H. Basal osteotomy of the first metatarsal for the correction of metatarsus primus varus associated with hallux valgus. *Foot Ankle* 8 (1988): 337-343
82. Wülker N., Suckel A. Osteotomien des Mittelfußes beim Hallux valgus. *Orthopade* 8 (2005): 726-734
83. Wülker N. *Hallux valgus - Hallux rigidus*. Stuttgart, (1997)
84. Yoshioka Y., Siu D. W., Cooke D. V., Bryant J. T., Wyss U. Geometry of the first metatarsophalangeal joint. *Journal of Orthopaedic Research* 6 (1988): 878-885
85. Zettl R., Trnka H.-J., Easley M., Salzer M., Ritschl P. Moderate to severe hallux valgus deformity: correction with proximal crescentic osteotomy and distal soft-tissue release. *Arch Orthop Trauma Surg* 120 (2000): 397-402

Anhang

A.O.F.A.S. Score	
Kriterien	
Schmerz (40 Punkte)	
keine Schmerzen	40
leichte Schmerzen, gelegentlich auftretend	30
mäßige Schmerzen, täglich auftretend	20
starke Schmerzen, fast immer vorhanden	0
Funktion (45 Punkte)	
Aktivitätsbeeinträchtigung (10 Punkte)	
keine Beeinträchtigung	10
keine Beeinträchtigung der Alltagsgestaltung, jedoch beschränkte Freizeitgestaltung	7
leichte Beeinträchtigung der Alltags- sowie Freizeitgestaltung	4
starke Beeinträchtigung der Alltags- sowie Freizeitgestaltung	0
Schuhversorgung (10 Punkte)	
Modische Schuhe, keine Einlagen	10
Bequeme Schuhe, Einlagen	5
Orthopädische Schuhe	0
MTP-Beweglichkeit (Extension und Flexion) (10 Punkte)	
Normal oder leicht eingeschränkt ($\geq 75^\circ$)	10
mäßig eingeschränkt (30° - 74°)	5
stark eingeschränkt ($< 30^\circ$)	0
IP-Gelenk-Beweglichkeit (5 Punkte)	
keine Einschränkung	5
starke Einschränkung ($< 10^\circ$)	0
MTP-IP Stabilität (5 Punkte)	
stabil	5
instabil oder luxierbar	0
Schwielen am Hallux oder IP-Gelenk (5 Punkte)	
keine oder asymptomatische Schwielenbildung	5
Schwielenbildung symptomatisch	0
Fußstellung (15 Punkte)	
gut , Hallux gut ausgerichtet	15
mäßig , Fehlstellung ohne Symptome	8
schlecht , schmerzhafte Abweichung des Hallux	0
Gesamtpunktzahl	100

Abbildung 1 A.O.F.A.S. Score nach Kitaoka [41]

Mayo-Clinic-Forefoot-Score

Kriterien

<i>Schmerz</i>	<i>(30 Punkte)</i>
keine Schmerzen	30
leichte Schmerzen, gelegentlich auftretend	20
mäßige Schmerzen, täglich auftretend	10
starke Schmerzen, fast immer vorhanden	0
<i>Funktion</i>	<i>(30 Punkte)</i>
<i>Aktivitätsbeeinträchtigung</i>	<i>(15 Punkte)</i>
keine Beeinträchtigung	15
keine Beeinträchtigung der Alltagsgestaltung, jedoch beschränkte Freizeitgestaltung	10
leichte Beeinträchtigung der Alltags- sowie Freizeitgestaltung	5
starke Beeinträchtigung der Alltags- sowie Freizeitgestaltung	0
<i>Beeinträchtigung bei der Schuhwahl</i>	<i>(10 Punkte)</i>
keine Beeinträchtigung, Modeschuhe werden toleriert	10
mäßige Beeinträchtigung, es können nur bequeme Schuhe mit Einlagen getragen werden	5
starke Beeinträchtigung, es können nur orthopädische Schuhe getragen werden	0
<i>Gelenkbeweglichkeit</i>	<i>(5 Punkte)</i>
keine Schmerzen	5
schmerzhafte Bewegung	0
<i>Schwielen am Hallux oder IP-Gelenk</i>	<i>(10 Punkte)</i>
keine oder asymptotische Schwielenbildung	10
symptomatische Schwielenbildung	0
<i>Fußstellung</i>	<i>(5 Punkte)</i>
gut , Hallux gut ausgerichtet	5
schlecht , schmerzhafte Abweichung des Hallux	0
<i>Gesamtpunktzahl</i>	<i>75</i>

Abbildung 2 Mayo-Clinic-Forefoot Score nach Kitaoka [42]

Danksagung

Diese Doktorarbeit wäre ohne die Unterstützung vieler Menschen nicht zustande gekommen, denen ich hiermit meinen Dank aussprechen möchte.

Mein Dank geht als erstes an meinen Doktorvater Prof. Dr. Reiner Gradinger, der mir die Erstellung dieser Arbeit ermöglicht hat. Dank seiner Unterstützung durfte ich auf weitere Gesprächspartner zurückgreifen, die mir mit wertvollen Ratschlägen zur Seite standen. In diesem Zuge möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr. Maximilian Rudert bedanken, dessen Unterstützung mich stark motivierte.

Ganz besonderer Dank gilt Herrn Dr. Wolfgang Bracker. Nicht nur aufgrund der stets bereichernden Gespräche, sondern auch aufgrund seiner herzlichen und freundlichen Art machte mir die Erstellung dieser Arbeit viel Spaß.

Ein ganz herzliches Dankeschön gebührt dem Team der orthopädischen Chirurgie München (OCM). Ihre Unterstützung, sowohl organisatorisch als auch technisch war während der ganzen Zeit der Doktorarbeit unbeschreibbar wertvoll.

Ein ganz besonderer Dank gilt auch den Patientinnen, die an dieser Studie teilgenommen haben. Ohne sie wäre die Arbeit nicht möglich gewesen.

Für seine Hilfe in statistischen Angelegenheiten möchte ich Herrn Tibor Schuster danken.

Meiner Familie möchte ich an dieser Stelle für ihre intensive und liebevolle Beratung danken.