

Aus der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie
der Universität zu Lübeck
Direktor: Prof. Dr. med. Andreas Paech

Leitung der Sektion Orthopädie:
Prof. Dr. med. Martin Russlies

Evaluation radiologischer Parameter in der Hallux- valgus-Chirurgie

Eine retrospektive Analyse

Inauguraldissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der Universität zu Lübeck

- Aus der Sektion Medizin -

Vorgelegt von

Malte Böse

aus Itzehoe

Lübeck 2024

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med Martin Russlies
Kobetreuer: Prof. Dr. med. Karl-Friedrich Klotz
2. Berichterstatter/Berichterstatterin: PD. Dr. med. Erik Stahlberg
Tag der mündlichen Prüfung: 17.07.2024

Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 18.07.2024

Promotionskommission der Sektion Medizin

Inhaltsverzeichnis

Anmerkung	1
1 Einleitung und Fragestellung	1
1.1 Epidemiologie und Ätiologie 1	
1.1.1 Epidemiologie.....	1
1.1.2 Ätiologie.....	1
1.2 Anatomie und Hallux-valgus-Deformität	2
1.3 Diagnostik	5
1.4 Therapie	6
1.5 Operationsverfahren	7
1.5.1 Distale Umstellung.....	7
1.5.2 Schaftumstellung.....	8
1.5.3 TMT-I-Arthrodesse (z. B. Lapidus).....	8
1.5.4 MTP-I-Arthrodesse	9
1.5.5 Cheilektomie.....	9
1.5.6 Wahl des Operationsverfahrens.....	9
1.6 Fragestellung der Arbeit	10
2 Material und Methoden	11
2.1 Patientinnenkollektiv und Art der Datenerhebung	11
2.2 Zeitpunkte der Nachuntersuchung	11
2.3 Ermittelte Parameter	11
2.3.1 Intermetatarsale-1/2-Winkel	12
2.3.2 Hallux-valgus-Winkel.....	12
2.3.3 Intermetatarsaler Index	13
2.3.4 Stellung des tibialen Sesambeines	13
2.3.5 Proximaler Gelenkflächenwinkel am Großzehengrundgelenk.....	14
2.3.6 Tarsometatarsale-1-Winkel & plantares Klaffen	14
2.3.7 FADI-Score.....	15
2.3.8 Arthrosegrad und Instabilität im TMT-1-Gelenk	15
2.4 Intra- und Interobserver Reliabilität	16
2.5 Statistik	16
3 Ergebnisse	18
3.1 Intermetatarsale-1/2-Winkel	18

3.2	Hallux-valgus-Winkel	20
3.3	Intermetatarsaler Index.....	21
3.4	Stellung des tibialen Sesambeines	23
3.5	Proximaler Gelenkflächenwinkel am Großzehengrundgelenk	23
3.6	Tarsometatarsale-1-Winkel & plantares Klaffen	25
3.7	FADI-Score	26
3.8	Operationsverfahren	27
3.9	Instabilität im TMT-1-Gelenk	31
3.10	Vergleich radiologischer Parameter	32
3.11	Inter- & Intraobserver Reliabilität	33
3.12	Zuordnung Schweregrad.....	34
3.13	Zusammenfassung der Ergebnisse	38
4	Diskussion	40
4.1	Limitationen	49
4.1.1	Postoperativer Intermetatarsaler Index	49
4.1.2	Auswahlbias des Patientinnenkollektivs und Drop-out-Rate	49
5	Zusammenfassung	51
6	Literaturverzeichnis	52
7	Anhänge	58
7.1	Verwendete Abkürzungen	58
7.2	Dokumentationsbogen für Diagnose Hallux valgus/rigidus	59
7.3	Bogen zur Erfassung des FADI-Scores.....	60
7.4	Prä- und postoperative Ergebnisse - tabellarisch.....	61
7.5	Tabelle Operationsverfahren	62
7.6	Tabelle der Intra- & Interobserver Reliabilität.....	64
7.7	Korrelationsmatrix.....	66
8	Danksagungen.....	67
9	Publikation	68

Anmerkung

In dieser Arbeit wird ausschließlich das generische Femininum verwendet, womit grundsätzlich beide Geschlechter gemeint sind. Diese Geschlechtsform findet hier unter anderem Anwendung, da mit 86,06 % ein Großteil der operierten Personen weiblichen Geschlechtes waren (s. Kapitel 2.1).

1 Einleitung und Fragestellung

Patientinnen, die an einer symptomatischen Hallux-valgus-Fehlstellung leiden, haben eine signifikant verringerte Lebensqualität gegenüber der Normalbevölkerung (Lewis et al., 2022). Die Messung der Ergebnisqualität nach Hallux-valgus-Operationen ist jedoch schwierig, da gut evaluierte objektive Parameter zur Beurteilung des Therapieerfolges fehlen. Zwar gilt die subjektive Patientinnenzufriedenheit als wichtigstes Ziel, jedoch ist nicht eindeutig geklärt, anhand welcher objektiver Parameter das OP-Ergebnis einzuordnen ist.

Die folgende Arbeit analysiert, in der Regelversorgung von fußchirurgisch versierten Ärztinnen erfasste, prä- und postoperativ gemessener Parameter und deren möglichen Aussagekraft zum Outcome der chirurgischen Intervention.

1.1 Epidemiologie und Ätiologie

1.1.1 Epidemiologie

Laut Nix und Smith (Nix et al., 2010) ist der Hallux valgus eine der häufigsten chronischen Fußbeschwerden. Ihr systematisches Review und ihre Meta-Analyse von 2010 umfasste 76 Studien und teilte die Patientinnen in drei Altersgruppen ein: Juvenil (< 18 Jahre), Erwachsene (18 – 65 Jahre) und Ältere (> 65 Jahre). Die Daten zeigten einen Anstieg der Prävalenz des Hallux valgus über das Alter, wobei diese 7,8 % in der Gruppe der Juvenilen betrug, 23 % bei den Erwachsenen und 35,7 % bei den Älteren. Die Studie zeigte weiter eine deutlich höhere Prävalenz bei Frauen als bei Männern über alle Altersgruppen. Lediglich 16 % der eingeschlossenen Arbeiten beriefen sich bei der Definition des Hallux valgus auf gemessene Winkel als Diagnosekriterien, unabhängig davon, ob es sich um klinisch oder radiologisch erfasste Parameter handelte.

1.1.2 Ätiologie

Die Prävalenz des Hallux valgus ist beim weiblichen Geschlecht deutlich höher als beim männlichen (Mann & Coughlin, 1981). Da insbesondere das Tragen von

engem und hohem Schuhwerk - insbesondere Absätze über 6 cm Höhe - als Auslöser einer valgus-Deformität gilt (Sánchez-Gómez et al., 2019), könnte die Geschlechtsverteilung sowohl ein Indiz für genetische als auch für mechanische Ursachen sein. Die Literatur beschreibt zusätzlich eine familiäre Häufung des Hallux valgus (Coughlin & Jones, 2007; Mann & Coughlin, 1981), wobei die Frage aufgebracht wurde, ob die Ursache hierfür wirklich bei einer genetischen Prädisposition oder einfach bei ähnlichen Lebensumständen und Umweltfaktoren liegt (Munteanu et al., 2017). Auch ein autosomal-dominanter Erbgang mit unvollständiger Penetranz wurde postuliert (Perera et al., 2011).

Nguyen et al. entdeckten in einer Studie bei Männern eine Korrelation zwischen höherem BMI und dem Vorhandensein einer HV-Deformität, während sich bei Frauen eine inverse Korrelation diesbezüglich zeigte und das Auftreten eines Hallux valgus bei Frauen eher mit einem niedrigeren BMI und ebenfalls dem Gebrauch von hohem Schuhwerk einherging (Nguyen et al., 2010). Des Weiteren wurden insbesondere Rheumatoide Arthritis und Diabetes mellitus als Komorbiditäten des Hallux valgus beschrieben (Nixon et al., 2017).

Darüber hinaus wird über einen Zusammenhang zwischen dem Hallux valgus und der horizontalen Hypermobilität im ersten TMT-Gelenk diskutiert (Doty & Coughlin, 2013; Mansur & de Souza Nery, 2020). Doch auch hier ist die Frage, ob diese Hypermobilität Folge oder Ursache der Deformität ist, nicht abschließend geklärt. Möglich wäre zum Beispiel, dass zwar eine gewisse Mobilität für die Genese pathologischer HV- und IM-Winkel vorliegen muss, die Hypermobilität aber eher im Verlauf und durch die Erkrankung entsteht (Doty & Coughlin, 2013). Weiterhin wurden ein im Verhältnis verlängerter erster Metatarsalknochen sowie ein nach lateral abfallender distaler Gelenkflächenwinkel des ersten Mittelfußknochens als mögliche Faktoren beschrieben (Mann & Coughlin, 1981). Sie sollen sowohl für die Entstehung des Hallux valgus verantwortlich sein als auch das Risiko eines postoperativen Wiederauftretens erhöhen.

1.2 Anatomie und Hallux-valgus-Deformität

Der Hallux valgus stellt eine Achsabweichung des ersten Mittelfußknochens nach fibular und der Großzehe nach tibial dar (Waizy & Fachgesellschaft, 2014). Dabei bildet sich eine sogenannte Pseudoexostose an der Fußinnenkante, bestehend aus dem prominenten Köpfchen des Metatarsale 1. Kombiniert mit den als Transfermetatarsalgie bezeichneten Belastungsschmerzen unter dem

Metatarsale-2- und -3-Köpfchen führt diese Pseudoexostose zu einem erheblichen Leidensdruck der Patientinnen, da sie in einem Schuhkonflikt resultieren kann, der im besten Fall das Tragen von Schuhen erschwert, in schwereren Fällen jedoch kritische Weichteilschäden hervorrufen kann, wenn beispielsweise zusätzlich eine Polyneuropathie besteht.

Ein Problem des Hallux valgus besteht darin, dass die Fehlstellung sich durch den aktiven Bewegungsapparat selbst verstärkt. Bei gleichbleibendem Zugvektor der Fußmuskeln ändert sich die Mechanik des ersten Strahls, wenn das Großzehengrundgelenk nach medial aufklappt. Das Drehzentrum ändert sich an dieser Stelle, und die pathologische Innenrotation wird durch den Muskelzug entlang der physiologischen Achse durch das Os metatarsale verschlimmert. Um diesen Circulus vitiosus zu durchbrechen, kommt bei fortgeschrittener Fehlstellung lediglich die operative Korrektur in Frage.

Die oben beschriebene Transfermetatarsalgie entsteht durch die reduzierte Lastaufnahme des nach medial abgewichenen 1. Strahls beim Abrollvorgang. Dadurch sind die übrigen Mittelfußköpfchen einer erhöhten Belastung ausgesetzt.

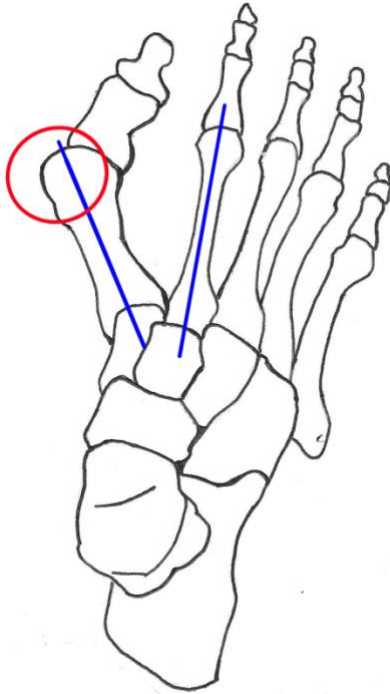


Abbildung 1: knöcherne Anatomie des Fußes mit Hallux-valgus-Fehlstellung. Beispielhaft sind die Schafthalbierenden zur Bestimmung des IM-1/2-Winkels eingetragen. Die Pseudoexostose ist umrandet.

Gleichzeitig führt die nach lateral abweichende Großzehe dazu, dass insbesondere im Schuh die übrigen Zehen unter Platzmangel leiden und so nach kranial ausweichen, was für das Entstehen von Hammer- und Krallenzehen beitragen kann.

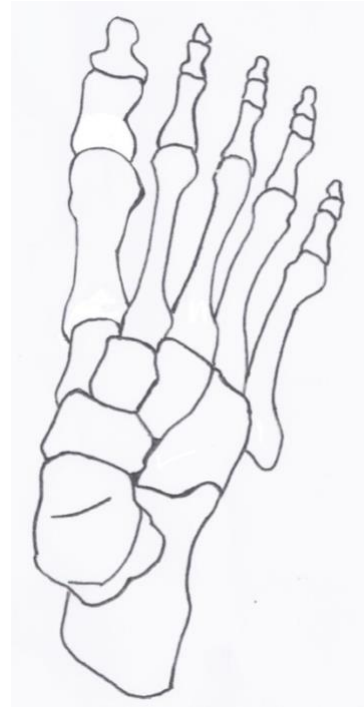


Abbildung 2: knöchernen
Anatomie des physiologischen
Fußes

1.3 Diagnostik

Die Diagnostik des Hallux valgus setzt sich aus klinischen und apparativen Untersuchungen zusammen (Waizy & Fachgesellschaft, 2014). Klinisch sollte zunächst eine gründliche Inspektion des betroffenen Fußes im Vergleich zur Gegenseite erfolgen. Achsabweichungen, Hautveränderungen und -defekte sowie Fehlstellungen, auch der nicht unmittelbar am Hallux valgus beteiligten Zehen, sollen erkannt werden. Zusätzlich müssen die Bewegungsausmaße von Großzehengrundgelenk und den beiden Sprunggelenken, die Palpation der Fußpulse und eine Erhebung des neurologischen Status erfasst werden, um weitere zugrunde liegende Erkrankungen, wie Diabetes mellitus oder Polyneuropathie, zu detektieren. Es sollte der Schmerzstatus und das Schuhtrageverhalten, insbesondere im Hinblick auf hohes Schuhwerk, erfragt werden (Sánchez-Gómez et al., 2019; Wülker & Mittag, 2012). Ergänzt wird die Diagnostik durch Röntgenaufnahmen von Vor- und Mittelfuß in dorsoplantarem und lateralem Strahlengang im Stand. Hier werden die Parameter Hallux-valgus-Winkel, Intermetatarsale-1/2-Winkel, Stellung des lateralen Sesambeines, Intermetatarsaler Index, proximaler Gelenkflächenwinkel am

Großzehengrundgelenk (PASA) sowie Tarsometatarsal-1-Winkel erfasst. Gesondert zu nennen sind hier der HV-Winkel zwischen den zwei Schafthalbierenden des Os metatarsale I und der Phalanx proximalis I sowie der IM-1/2-Winkel zwischen den Ossa metatarsale I und II. Eine ausführliche Beschreibung der gängigsten radiologischen Parameter folgt unter Material & Methoden (s. Kapitel 2).

1.4 Therapie

Konservative und operative Methoden bilden die zwei Säulen der Hallux-valgus-Therapie, deren Ziel es ist, die Fehlstellung zu korrigieren, Schmerzen zu reduzieren und einen Funktionsgewinn zu erreichen (Waizy & Fachgesellschaft, 2014). Mehr als 150 verschiedene Operationsverfahren sind zur Versorgung des Hallux valgus beschrieben (Wülker & Mittag, 2012). Unterschiedliche Gegebenheiten fließen in die Wahl der geeigneten Technik mit ein. Die AWMF-Leitlinie differenziert vor allem zwischen korrigierenden Osteotomien, wobei zwischen distalen und basisnahen Osteotomien unterschieden wird, und den korrigierenden Arthrodesen (Waizy & Fachgesellschaft, 2014). Die Zuordnung zu den jeweiligen Verfahren hängt von dem Schweregrad der Fehlstellung ab, wobei

Mild	Moderat	Schwer
HV-Winkel: 21-30°	HV-Winkel: 31-40°	HV-Winkel: >40°
IM I/II-Winkel: 10-15°	IM I/II-Winkel: 16-20°	IM I/II-Winkel: >20°
Distale Korrekturosteotomie	Diaphysäre/Basisnahe Korrekturosteotomie	TMT-I-Korrekturarthrodese

Abbildung 3: HV-Schweregrade und Therapieempfehlung, abhängig von Hallux-valgus-Winkel und Intermetatarsale-1/2-Winkel; modifiziert nach Waizy, H. & Fachgesellschaft, 2014

dieser mithilfe von HV- und IM-Winkel festgelegt wird. Entsprechend der durch diese beiden Winkel definierten Schweregrade erfolgt die Wahl der Therapie. Wobei der milde Hallux valgus mit einer Korrekturosteotomie versorgt werden sollte und der schwere Hallux valgus mit einer TMT-1-Arthrodese oder einer diaphysären oder basisnahen Korrekturosteotomie. Die moderate Fehlstellung kann mit allen eben genannten Operationsverfahren therapiert werden (Waizy & Fachgesellschaft, 2014).

1.5 Operationsverfahren

Im Folgenden werden die Verfahren jeweils kurz erläutert, die bei einem oder mehreren der beschriebenen Fälle zur Anwendung kamen. Abbildung 4 zeigt schematisch die Angriffspunkte häufig verwendeter Operationsverfahren.

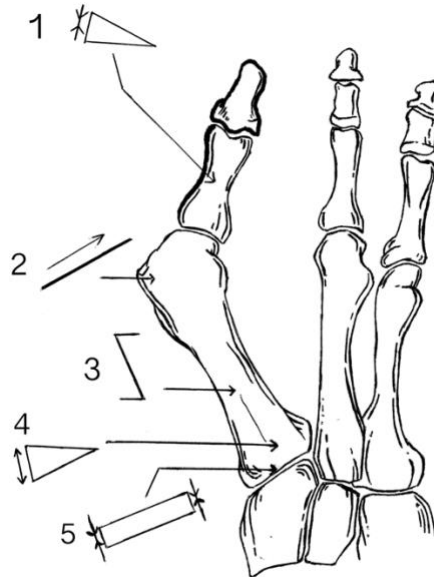


Abbildung 4: Angriffspunkte häufig verwendeter OP-Verfahren: Akin (1), Chevron (2), Scarf (3), Basisosteotomie (4), Lapidus (modifiziert nach Wülker, N. & Mittag, F., 2012 (Wülker & Mittag,

1.5.1 Distale Umstellung

1.5.1.1 Austin/Chevron

Bei der Osteotomie nach Austin, auch Chevron-Osteotomie, wird das erste Metatarsalköpfchen V-förmig inzidiert und nach lateral verschoben. Wann diese Technik historisch zum ersten Mal zur Anwendung kam, variiert je nach Quelle. Eine der ersten wissenschaftlichen Arbeiten, welche sich im Detail mit dieser operationstechnischen Vorgehensweise beschäftigt, erschien 1981 von Austin und Leventen (Austin & Leventen, 1981).

Indiziert ist diese Technik bei gering ausgeprägten Hallux-valgus-Fehlstellungen, was laut AMWF-Leitlinie einem maximalen IM-1/2-Winkel von 15° entspricht.

1.5.1.2 Reverdin-Green-Laird

Hier handelt es sich um eine Operationstechnik, die nach ihrer Erstbeschreibung 1881 durch Reverdin über die Jahre mehrfach ergänzt und abgewandelt wurde, unter anderem durch Laird 1988 (Laird et al., 1988). Dabei wird durch Entnahme eines retrokapitalen medialbasigen Knochenkeils eine Modellierung des

Metatarsale 1 und dadurch eine Korrektur der Achsfehlstellung ermöglicht (Galois et al., 2020).

1.5.1.3 Akin

Die Akin-Osteotomie wurde 1925 als neue Operationstechnik von Akin beschrieben (Akin, 1925).

Diese Osteotomie wird nahezu ausschließlich als Ergänzung zu anderen Verfahren und nur selten allein verwendet. Die Durchführung erfolgt durch die Entnahme eines medialbasigen Keils aus der Grundphalanx der Großzehe.

1.5.2 Schaftumstellung

Alternativ kann anstelle der distal ansetzenden Osteotomie auch etwas proximaler, also am Schaft des 1. Metatarsalknochens bzw. diaphysär, korrigiert werden. Das bekannteste diaphysäre Verfahren ist die Scarf-Osteotomie, die jedoch nicht für starke Fehlstellungen verwendet werden sollte (Wülker & Suckel, 2005).

Der Kern dieses Verfahrens besteht aus einer Z-förmigen horizontalen Durchtrennung des ersten Metatarsalknochens. Anschließend können die beiden Knochensegmente entlang des entstandenen Schnittes in die gewünschte Position gebracht werden und mithilfe von Schrauben fixiert werden.

1.5.3 TMT-I-Arthrodese (z. B. Lapidus)

Der Begriff „Arthrodese“ bezeichnet die Versteifung eines Gelenkes. Das Tarsometatarsalgelenk zwischen erstem Mittelfußknochen und Fußwurzelknochen gilt als ein möglicher Angriffspunkt bei stärkeren Fehlstellungen. Hierfür wird das TMT-I-Gelenk entknorpelt und mithilfe von eingebrachten Platten oder Schrauben in Korrekturstellung versteift, die Hypermobilität in diesem Gelenk dadurch aufgehoben und die pathologische Stellung des 1. Strahls korrigiert. Zu nennen ist hier die, nach ihrem Erstbeschreiber benannte, Lapidus-Arthrodese (Lapidus, 1934).

Gemäß Leitlinie können sowohl moderate als auch schwere Hallux-valgus-Deformitäten mit einer TMT-I-Arthrodese versorgt werden. Da insbesondere die Hypermobilität im Tarsometatarsalgelenk zumindest in Zusammenhang mit der Entstehung des Hallux valgus stehen soll, liegt das TMT-I-Gelenk als Operationsgebiet nahe (Ellington et al., 2011; Shibuya et al., 2017). Man ist sich jedoch uneinig bezüglich dieses Zusammenhanges, sodass einige Experten

diesen Eingriff als mittlerweile überholt ansehen, während andere Operateurinnen regelmäßig darauf zurückgreifen und über gute Ergebnisse berichten (Ellington et al., 2011).

1.5.4 MTP-I-Arthrodese

Das Großzehengrundgelenk kann auch direkt (korrigierend) versteift werden. Dieses Verfahren kommt bei stark ausgeprägtem Hallux valgus und/oder Hallux rigidus, also ausgeprägter Arthrose im Großzehengrundgelenk, zur Anwendung (Kumar et al., 2010). Äquivalent zur TMT-I-Arthrodese nach Lapidus wird hier das entsprechende Gelenk eröffnet, entknorpelt und dann mit Schrauben und/oder einer Platte stabilisiert. Die MTP-I-Arthrodese wird häufig auch für die Therapie des Hallux rigidus ohne bestehenden Hallux valgus vorgenommen oder als Salvage-Eingriff nach nicht zufriedenstellender initialer Korrektur.

Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass es selbst bei stark ausgeprägten valgus-Fehlstellungen eine sichere Korrektur ohne größere Rezidivgefahr erlaubt. Allerdings muss mit Mobilitätseinschränkungen in der Abrollbewegung gerechnet werden, da durch das versteifte Gelenk die Abrollbewegung nicht mehr im physiologischen Rahmen möglich ist. Insgesamt sind schwere Komplikationen bei diesem Eingriff jedoch selten (Döring & Puchner, 2020).

1.5.5 Cheilektomie

Abgesehen von der MTP-I-Arthrodese können die oben genannten Operationsverfahren mit einer Cheilektomie kombiniert werden (Galois et al., 2020). Bei der Cheilektomie werden im Rahmen eines Hallux rigidus entstandene Osteophyten aus dem Gelenkspalt bzw. vom Gelenkrand reseziert. Eine spezielle Cheilektomie-Technik ist die Operation nach Valenti, bei welcher die Resektion großzügig in einem 45° Winkel durchgeführt wird (Harisboure et al., 2009).

1.5.6 Wahl des Operationsverfahrens

Wülker und Mittag haben in Ihrer Arbeit „Therapie des Hallux valgus“ die bekanntesten Operationsverfahren inklusive Anwendungsgebiet tabellarisch aufgelistet (Wülker & Mittag, 2012). Zusätzlich führten sie Studien auf, in welchen zwei oder mehr Verfahren direkt verglichen wurden sowie deren Ergebnisse. Viele der vorgestellten Arbeiten ergaben keine wesentlichen Unterschiede, häufig durch zu geringe Gruppengrößen oder eine zu kurze Nachuntersuchungszeit.

Da die Leitlinie viel Spielraum in der Wahl der Operation zulässt, verbleibt die definitive Entscheidung letztlich bei der Operateurin. Die deutsche Leitlinie gibt jedoch einen Algorithmus an die Hand, der bei der Therapieentscheidung hilfreich sein kann (s. Abbildung 3).

1.6 Fragestellung der Arbeit

Diese Arbeit evaluiert, ob und wie stark die radiologischen Messparameter durch die verschiedenen Operationsverfahren korrigiert werden und ob das Ausmaß der radiologischen Korrektur mit der Patientinnenzufriedenheit korreliert. Darüber hinaus wurden streckenbasierte Messverfahren den bisher praktizierten winkelbasierten Methoden gegenübergestellt. Im Rahmen mehrfacher Messungen unterschiedlicher Untersucherinnen sollte untersucht werden, ob die Bestimmung von Strecken der Bestimmung von Winkeln in inter- und intrabeobachter Reliabilität überlegen ist.

2 Material und Methoden

2.1 Patientinnenkollektiv und Art der Datenerhebung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Röntgenbilder von 276 Füßen ausgewertet. Die Daten resultieren aus einer prospektiven Multicenter-Studie zur operativen Therapie des Hallux valgus und Hallux rigidus in Norddeutschland. Es wurden insgesamt 1090 Hallux-valgus- und Hallux-rigidus-Operationen, die in den Jahren 2012 und 2013 in sechs verschiedenen OP-Zentren durchgeführt wurden, dokumentiert. Von 276 Fällen lagen sowohl die prä- als auch die postoperativen Röntgenbilder im Stand im d.p. und im lateralen Strahlengang vor und es war gewährleistet, dass die Aufnahmen nach gleichen Standards entstanden sind. 152 der ursprünglichen 1090 Operationen wurden an männlichen Patienten durchgeführt (13,94 %), 938 an weiblichen (86,06 %). Das dokumentierte Alter erstreckte sich von 14 bis 83 Jahren, mit einem Mittelwert von 54,63 Jahren. Die 276 letztlich analysierten Fälle teilten sich in 136 rechte Füße (49,3 %) und 140 linke Füße (50,7 %). 89,1 % der eingeschlossenen Personen waren weiblichen Geschlechtes.

2.2 Zeitpunkte der Nachuntersuchung

Die Erfassung der radiologischen Parameter sowie der FADI-Scores erfolgte jeweils zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Der FADI-Score wurde zunächst präoperativ erhoben und später nach je 6, 12 und 24 Monaten reevaluiert. Im Gegensatz dazu wurden die Röntgenbilder zu zwei Zeitpunkten befundet.

Im Median lag die Zeitdauer zwischen den Röntgenaufnahmen bei 26 Wochen mit einem IQR von 27,75 Wochen. Der kürzeste Abstand zwischen prä- und postoperativer Aufnahme lag bei 5 Wochen, der längste bei 279 Wochen.

2.3 Ermittelte Parameter

Zu jedem Fall lagen jeweils vier Röntgenbilder vor: präoperativ und postoperativ im d.-p. sowie im lateralen Strahlengang. Die erfassten Winkel, Strecken und Quotienten wurden im Hinblick auf den Erfolg der Operation untersucht, mit dem Ziel, anhand bestimmter Parameter Vorhersagen über das Outcome der OP treffen zu können. Um das Operationsergebnis möglichst quantitativ einzuordnen, wurden die postoperativen radiologischen Parameter sowie der FADI-Score verwendet.

2.3.1 Intermetatarsale-1/2-Winkel

Der Intermetatarsale-1/2-Winkel (IM-Winkel) wird röntgenologisch im dorsoplantaren Strahlengang erfasst (Venning, 1951). Er beschreibt, in welchem Winkel der erste und zweite Intermetatarsalknochen zueinander stehen und ist neben dem HV-Winkel der einzige Parameter, der in der AWMF-Leitlinie konkret in Schweregrade eingeteilt wird (s. Kapitel 3.12). Dieser Winkel ist normwertig, wenn $\alpha < 10^\circ$. Die AWMF definiert in ihrer Schweregradeinteilung einen IM-Winkel ab 11° als milde Fehlstellung (s. Abbildung 5).

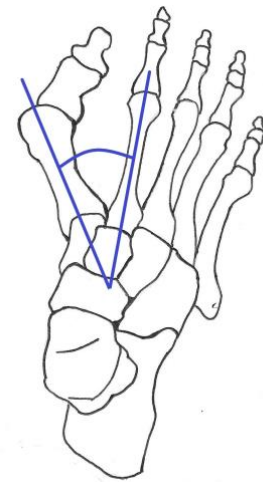


Abbildung 5: Intermetatarsale-1/2-Winkel

2.3.2 Hallux-valgus-Winkel

Der Hallux-valgus-Winkel (HV-Winkel) ist definiert als der Winkel zwischen den zwei Schafthalbierenden des Os metatarsale I und der Phalanx proximalis I. Laut Waldt handelt es sich ab Winkeln $> 15^\circ$ um einen Hallux valgus (Waldt, 2017), wohingegen die Leitlinie der AWMF erst Fehlstellungen $> 21^\circ$ als einen Hallux valgus definiert (Waizy & Fachgesellschaft, 2014). Ein pathologischer Winkel resultiert aus dem nach medial abweichenden ersten Metatarsalknochen in Kombination mit einer nach lateral abweichenden Grundphalanx (s. Abbildung 6).

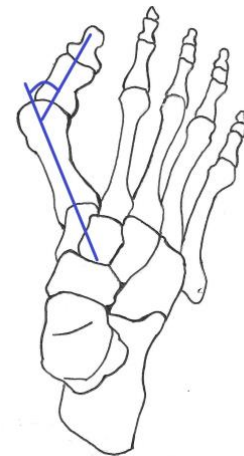


Abbildung 6: Hallux-valgus-Winkel

2.3.3 Intermetatarsaler Index

Da bei den vermessenen Röntgenaufnahmen nicht von einem einheitlichen Vergrößerungsmaßstab auszugehen war, wurden statt absoluter Abstandsmaße Quotienten erfasst. Der Intermetatarsale Index wurde wie folgt gemessen: Es wurde eine Hilfslinie in das Röntgenbild eingezeichnet, welche die mediale Kortikalis des ersten Strahles distal am Metatarsalköpfchen sowie proximal tangiert. Von dieser Linie aus wurden zwei parallele Hilfslinien gebildet, die erste berührt das erste Metatarsalköpfchen an der lateralen Kortikalis, die zweite den am weitesten medial gelegenen Punkt des zweiten Strahles. Schließlich wurde der Quotient gebildet aus dem Abstand der beiden medialen Linien und dem Abstand der ersten zur dritten Linie (s. Abbildung 7). Dieser Quotient bildet den Intermetatarsalen Index, darf jedoch nicht verwechselt werden mit dem von Nilsonne beschriebenen Metatarsalindex, der die Länge des Knochens bestimmt (Nilsonne, 1930).

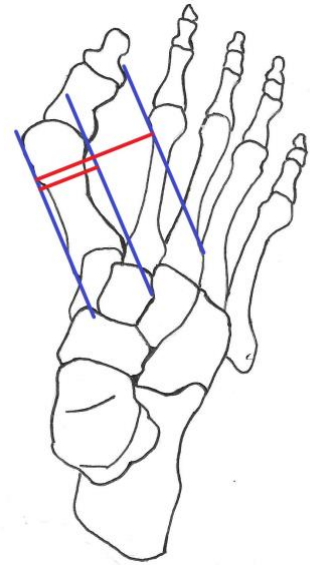


Abbildung 7: Intermetatarsaler Index

2.3.4 Stellung des tibialen Sesambeines

Unter dem Großzehengrundgelenk sind normalerweise zwei Sesambeine, jeweils eingebettet in den kurzen Beugesehnen. Die Position des tibialen Sesambeines kann nach Hardy und Clapham von eins bis sieben eingeteilt werden (Hardy & Clapham, 1951). Die vierte Position entspricht einer exakten Lokalisation des Sesambeines auf der Schafthalbierenden, die dritte liegt medial der Schafthalbierenden und schneidet diese um weniger als 50 %, die zweite Position liegt medial der Schafthalbierenden und berührt diese, und die erste Position liegt komplett medial, ohne in Kontakt zur Schafthalbierenden zu stehen. Die Positionen fünf bis sieben entsprechen den eben genannten, jedoch mit nach lateral verschobenem Sesambein. In genannter Arbeit von Hardy und Clapham wies die Kontrollgruppe ohne Hallux-valgus-Deformität vor allem die Positio-

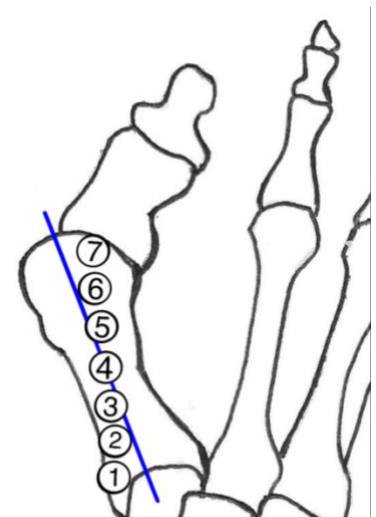


Abbildung 8: Einteilung der Sesambeinposition; analog zur Einteilung nach Hardy und Clapham

nen „2“ dicht gefolgt von „3“ und „1“ auf, in der Hallux-valgus-Gruppe war es vor allem die Position „7“.

Die Kenntnis über die genaue Position dieser kleinen Knochen ist insofern relevant, da die Positionen vier bis sieben, also eine laterale Sesambeinstellung, mit einer Instabilität des ersten Metatarsophalangealgelenkes einhergehen sollen (Iliou et al., 2019). Die Bestimmung der Position der Sesambeine erfolgte entsprechend der Einteilung nach Hardy und Clapham in 7 mögliche Positionen (Hardy & Clapham, 1951). In Abbildung 8 sind die Einteilungsgrade graphisch dargestellt.

2.3.5 Proximaler Gelenkflächenwinkel am Großzehengrundgelenk

Der proximale Gelenkflächenwinkel (PASA; Proximal articular set angle) wird im dorsoplantaren Röntgenbild bestimmt. Es handelt sich um den Winkel zwischen der Schafthalbierenden der Grundphalanx sowie einer Hilfslinie. Dafür wird zunächst eine Linie an die proximale Gelenkfläche des MTP-1-Gelenkes angelegt und im rechten Winkel dazu eine weitere Hilfslinie eingezeichnet (s. Abbildung 9). Der Winkel, der zwischen dieser und der Längsachse der ersten Phalanx abzulesen ist, entspricht dem PASA (Montiel et al., 2019).

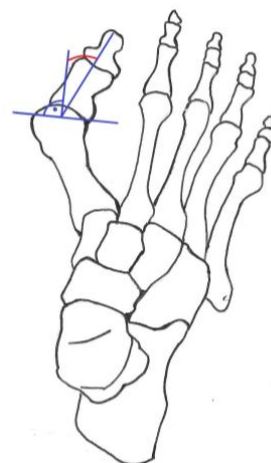


Abbildung 9: Proximaler Gelenkflächenwinkel (PASA)

2.3.6 Tarsometatarsale-1-Winkel & plantares Klaffen

Der Tarsometatarsale-1-Winkel (TMT-1-Winkel) bildet die Verbindung zwischen Vor- und Rückfuß ab (Hamel & Kinast, 2006) und wird aus Röntgenbildern im lateralen Strahlengang bestimmt. Gebildet wird dieser aus der Schafthalbierenden durch das Os metatarsale 1 sowie die Längsachse des Talus (s. Abbildung 10). Die Bestimmung dieses Winkels ermöglicht eine Differenzierung zwischen Platt- und Hohlfuß. Bei einer physiologischen Fußform liegen diese Achsen annähernd parallel (Normwert: $+4^\circ$ bis -4°). Winkel, die 4° übersteigen, weisen auf das Vorliegen eines Hohlfußes (Pes cavus), Winkel unter -4° auf einen Plattfuß (Pes planovalgus) hin (Waldt, 2017). Ergänzend wurde für jede Patientin erfasst, ob der Gelenkspalt zwischen dem ersten Mittelfußknochen und dem Os cuneiforme als Zeichen der vertikalen Instabilität plantar klafft.

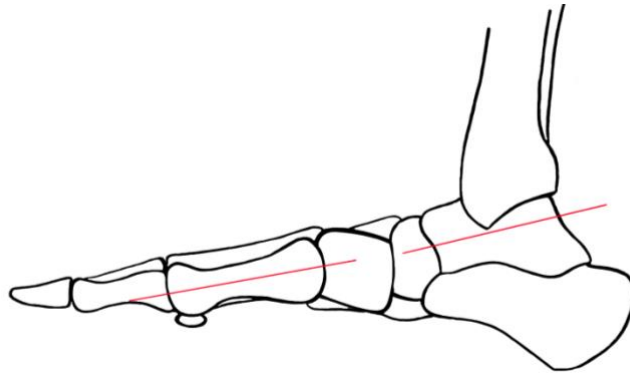


Abbildung 10: Bestimmung des Tarsometatarsale-1-Winkels

2.3.7 FADI-Score

Der „Foot & Ankle Disability Index Score“, kurz FADI, ist ein Score, der die Funktionsfähigkeit und mögliche Beschwerden der Füße von Patientinnen quantifiziert. Er besteht aus 26 Items, von denen 22 Aktivitäten des täglichen Lebens und 4 das Schmerzempfinden erfassen. Jedes dieser 22 erstgenannten Items umfasst einen möglichen Wert von null (nicht durchführbar) bis vier Punkten (keine Beschwerden), die schmerzbezogenen Fragen werden von null (Fuß ist nicht belastbar) bis vier (kein Schmerz) kategorisiert (s. Kapitel 7.3). Der Score kann also theoretisch Punktwerte von null bis 104 erreichen. Der FADI-Score wurde erstmals im Jahre 1999 von R.L. Martin beschrieben (Martin et al., 1999). Hale et al. ermittelten eine moderate bis gute Verlässlichkeit des FADI-Scores (Hale & Hertel, 2005).

Der FADI-Score wurde als Maß für die subjektive Patientinnenzufriedenheit und die Beschwerden den ermittelten radiologischen Parametern gegenübergestellt. So sollte herausgefunden werden, ob der radiologisch gemessene „Erfolg“ der Korrektur, der Zufriedenheit der Patientinnen entspricht und inwieweit die präoperativ erfassten Parameter eine Vorhersage auf den postoperativen Erfolg zulassen. Der Score wurde im Rahmen einer weiteren Dissertationsarbeit präoperativ und nach jeweils 6, 12 und 24 Monaten erhoben, um den postoperativen Verlauf der Beschwerden abschätzen zu können (Freibrod, 2021).

2.3.8 Arthrosegrad und Instabilität im TMT-1-Gelenk

Ob ein Hallux rigidus - also eine Arthrose im MTP-1-Gelenk - vorlag, wurde von den Operierenden dokumentiert. Die Einteilung der Arthrosegrade erfolgte nach der Klassifikation von Kellgren und Lawrence, welche zwischen fünf Schweregraden unterscheidet. Ein Wert von null bedeutet hier, dass keine

Arthrose vorliegt, ein Wert von vier, dass eine schwere Arthrose vorhanden ist (Kellgren & Lawrence, 1956). Zusätzlich wurde dokumentiert, ob in der klinischen Untersuchung eine Instabilität im TMT-1-Gelenk der Patientinnen vorlag. Hier wurde außerdem unterschieden, ob diese Instabilität bzw. Hypermobilität in der Frontal- und/oder der Sagittalebene vorlag.

2.4 Intra- und Interobserver Reliabilität

Um zu untersuchen, ob der Intermetatarsale Index eine vergleichbare oder sogar höhere Intra- und Interbeobachter Reliabilität aufweist als die radiologisch gemessenen Winkel, wurden der HV-Winkel, der IM-1/2-Winkel sowie der Intermetatarsale Index von 19 Patientinnen bestimmt, die einen reinen Hallux valgus ohne Arthrose aufwiesen. Diese Werte wurden sowohl prä- als auch postoperativ und, abgesehen von dem Autor dieser Arbeit, von drei weiteren Untersuchern unterschiedlicher Expertise erfasst. Es handelte sich hierbei um einen Medizinstudenten im letzten Jahr (im Folgenden „S“), eine Assistenzärztin im 3. Jahr (ÄÄ3), eine Fachärztin im 1. Jahr (FÄ1) sowie um einen Funktionsoberarzt im Fachgebiet der Fußchirurgie (FOA). Jede Messung wurde zweimal durchgeführt, um die Intraobserver-Reliabilität zu untersuchen. Die gemessenen Gradzahlen des IM-Winkels und des HV-Winkels wurden der klinischen Routine entsprechend auf ganze Zahlen gerundet.

2.5 Statistik

Die statistische Auswertung der Daten für vorliegende Arbeit wurde mit dem Programm SPSS Statistics Version 26 und 28 der Firma IBM durchgeführt. Da in vorhandenem Datensatz multipel getestet wurde, ist die Bonferroni-Korrektur angewandt worden, um eine Alpha-Fehler-Kumulierung auszuschließen. Da fünf verschiedene Parameter auf eine signifikante Veränderung durch die Operation untersucht wurden, ist das Signifikanzniveau auf $<0,01$ festgelegt worden. Tests auf Normalverteilung wurden mithilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests und des Shapiro-Wilk-Tests durchgeführt. Tests auf Signifikanz zweier verbundener Parameter wurden abhängig vom Skalenniveau nach Wilcoxon oder dem t-Test für verbundene Stichproben durchgeführt.

Zur Untersuchung nominal- oder ordinalskalierter Parameter wurde der Chi-Quadrat-Test durchgeführt. Um den vorhandenen Datensatz auf Korrelationen zu untersuchen, wurde abhängig vom Skalenniveau der Korrelationskoeffizient nach

Pearson oder nach Spearman-Rho bestimmt. Wurden zwei oder mehr Parameter auf Korrelation untersucht, von denen einer nominal- und einer metrisch skaliert war, wurde der Eta-Koeffizient verwendet. Zur Untersuchung der Inter- und Intraobserver Reliabilität wurde der Intraklassenkorrelationskoeffizient (ICC) bestimmt.

3 Ergebnisse

Von einer der 276 ausgewerteten Patientinnen lag das Alter nicht vor. Der Median der anderen 275 Patientinnen lag bei 57 Jahren (15 – 81 Jahre, s. Abbildung 11). Zum Vergleich mit der Meta-Analyse von Nix und Smith (Nix et al., 2010) wurden die Patientinnen entsprechend in drei Altersgruppen aufgeteilt. 0,4 % der Patientinnen fielen in die Gruppe der Juvenilen (< 18 Jahre), 80,1% in die der Erwachsenen (18 - 65 Jahre) und 19,6 % in die Gruppe der Älteren (> 65 Jahre). Insgesamt handelte es sich in 246 Fällen (89,1 %) um Frauen, die operiert wurden und in 30 Fällen (10,9 %) um Männer.

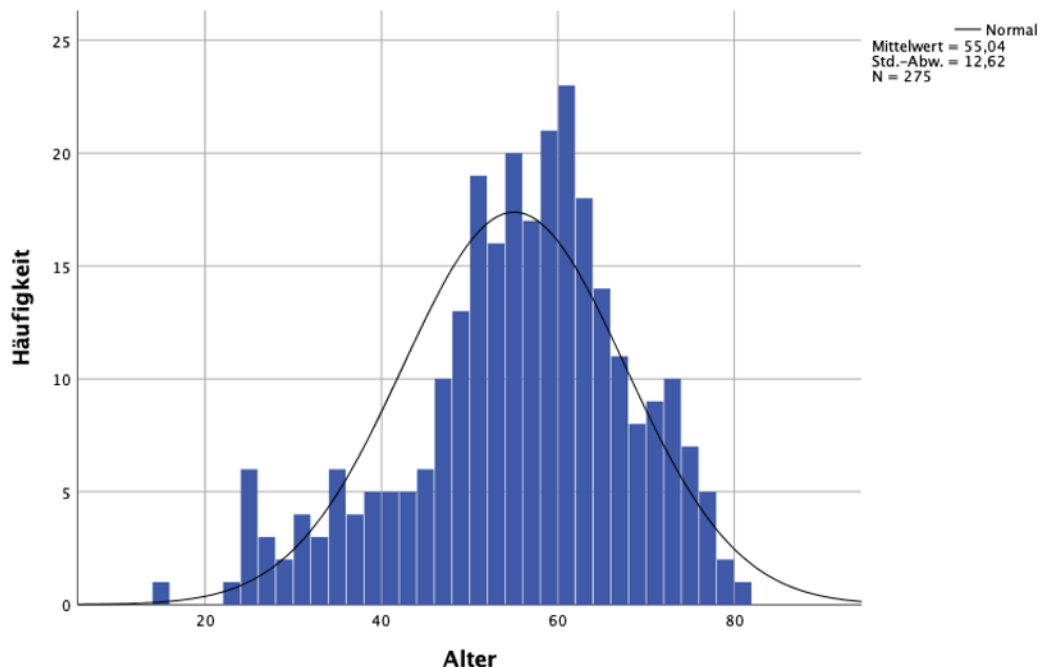


Abbildung 11: Altersverteilung der vorliegenden Studienpopulation in Jahren

Die Zahl der in der Stichprobe operierten rechten und linken Füße war nahezu identisch. Die 276 letztlich analysierten Fälle verteilten sich auf 136 rechte Füße (49,3 %) und 140 linke Füße (50,7 %).

3.1 Intermetatarsale-1/2-Winkel

Beim Vergleich der prä- und postoperativ gemessenen IM-1/2-Winkel fällt eine Reduktion des Mittelwertes von 12,19° zu 7,39° auf. Auch haben sich jeweils die Minima von 4,14° auf 1,33° und die Maxima von 23,05° auf 17,08° verringert (s. Abbildung 12).

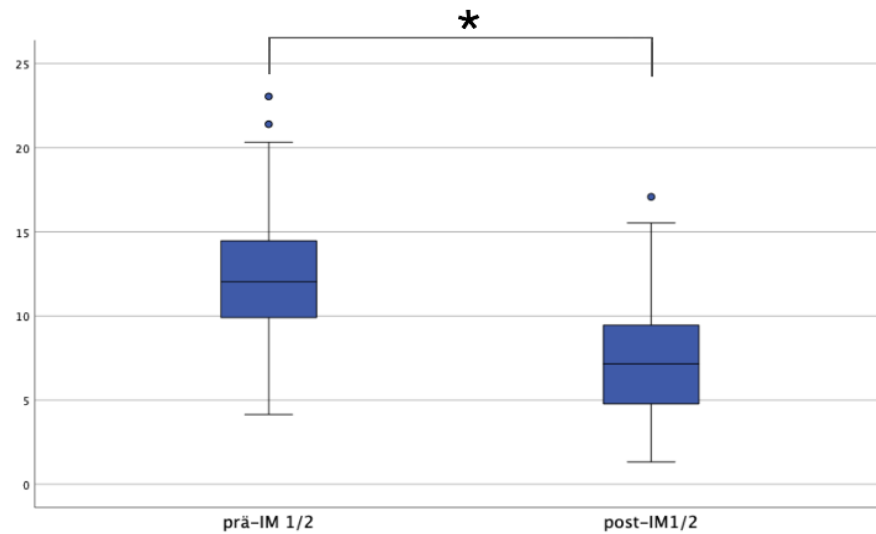


Abbildung 12: Prä- und postoperative Ergebnisse des IM-1/2-Winkels im Boxplot, die Punkte über den Graphen bilden jeweils Ausreißer ab (n=275), die Verringerung ist im t-Test signifikant ($p < 0,01$);

Der Mittelwert der Differenzen der prä- und postoperativen Intermetatarsal-1/2-Winkel einzelner Patientinnen lag bei $4,8^\circ$, die stärkste Änderung betrug $15,15^\circ$ und das nach IM-1/2-Winkel schlechteste Ergebnis lag bei einer postoperativen Winkelvergrößerung von $4,53^\circ$, was eine Spannweite von $19,68^\circ$ ergibt (s. Abbildung 13). Die Verringerung des IM-1/2-Winkels ist im t-Test postoperativ zu präoperativ signifikant ($t(275)=19,5$, $p < 0,01$).

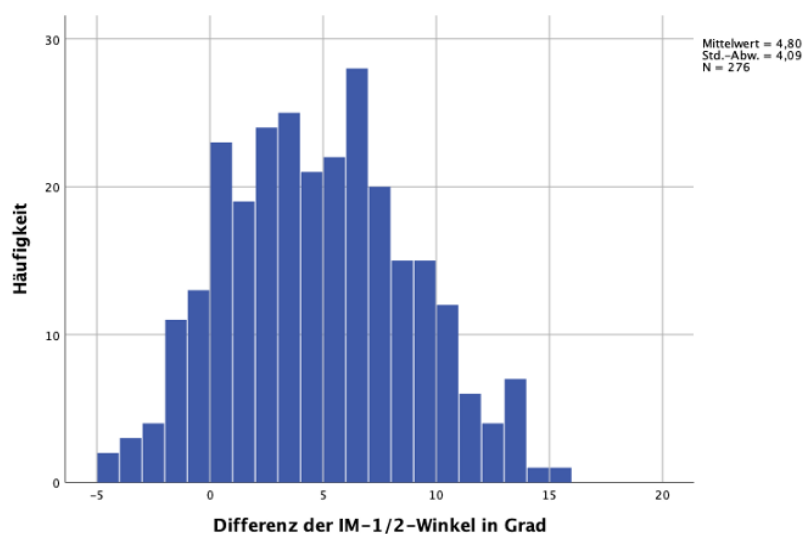


Abbildung 13: Differenz der prä- und postoperativen Intermetatarsale-1/2-Winkel im Histogramm aufgetragen

3.2 Hallux-valgus-Winkel

Auch beim Hallux-valgus-Winkel (oder HV-Winkel) haben sich sowohl der Mittelwert der zu verschiedenen Zeitpunkten gemessenen Werte, von 25,1° auf 15,09°, als auch Minimum, von 2,33° auf 1,03°, und Maximum, von 54,24° auf 31,86°, nach der OP verringert (s. Abbildung 14 & Tabelle 14 im Anhang).

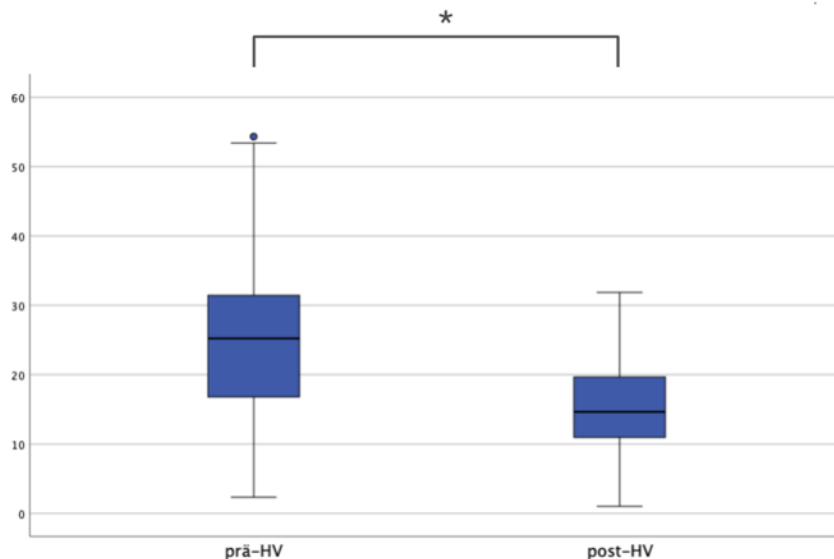


Abbildung 14: Prä- und postoperative Ergebnisse des HV-Winkels im Boxplot, der HV-Winkel verringerte sich signifikant durch die Operation (n=275); die Verringerung ist im t-Test signifikant ($p < 0,01$)

Der Mittelwert der Differenzen des Hallux-valgus-Winkels postoperativ zu präoperativ betrug 10,01°. Die maximale Reduktion des pathologischen Winkels betrug 38°, und die minimale Reduktion bzw. die maximale Vergrößerung des Winkels betrug -17,21° (s. Abbildung 15), was bedeutet, dass sich der präoperativ gemessene Hallux-valgus-Winkel um eben diesen Betrag vergrößert hat. Das war der Fall in insgesamt 16,7 % der Fälle; also wurden in 83,3 % die HV-Winkel verkleinert. Die Verringerung des HV-Winkels postoperativ zu präoperativ war im t-Test signifikant ($t(275)=16,03$, $p < 0,01$).

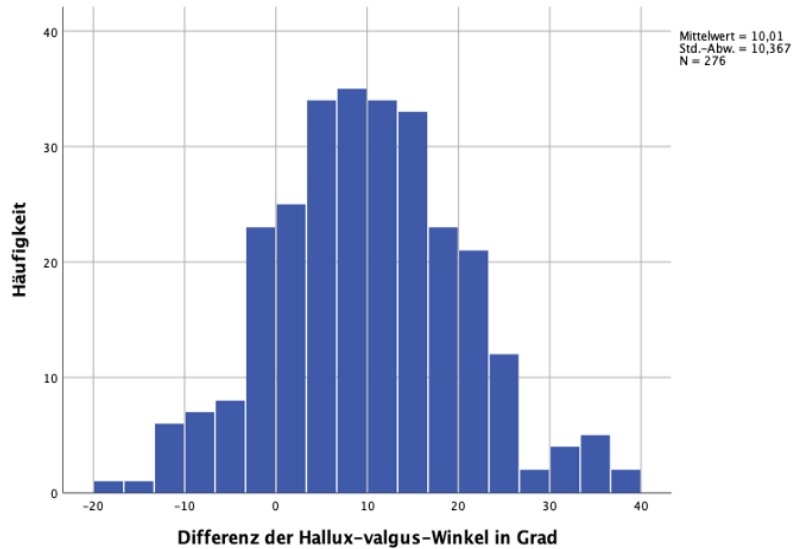


Abbildung 15: Differenz der prä- und postoperativen Hallux-valgus-Winkel im Histogramm aufgetragen

3.3 Intermetatarsaler Index

Da es sich bei dem Metatarsalindex um einen Index handelt, der die Größe der Abweichung vom ersten zum zweiten Strahl beschreibt und dieser Abstand durch den Nenner des Quotienten erfasst wird, bedeutet ein kleiner Index eine größere Fehlstellung. Je dichter der Wert gegen eins geht, desto geringer ausgeprägt ist der Hallux valgus, wobei ein Wert von eins nur theoretisch möglich wäre, da sonst der erste und zweite Metatarsalknochen direkt aneinander bzw. übereinander liegen müssten (s. Abbildung 16).

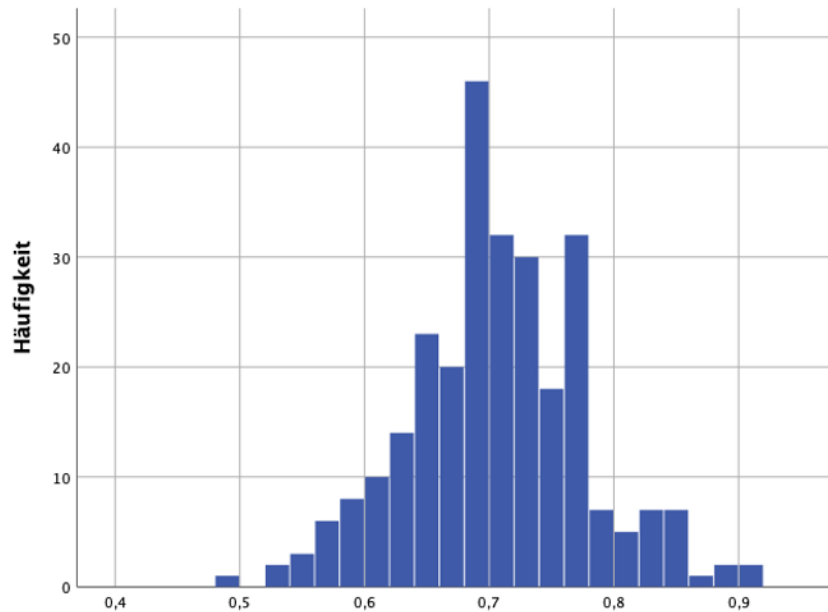


Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung des präoperativen Intermetatarsalen Index

Der Mittelwert erhöhte sich um 0,05 von 0,7 auf 0,75, ebenso das Minimum und das Maximum, welche jeweils um 0,06 höher als der Ausgangswert waren (s. Abbildung 17 & Tabelle 15 im Anhang). Die Veränderung des Metatarsalindexes postoperativ zu präoperativ war im t-Test signifikant ($t(275)=-7,81, p<0,01$).

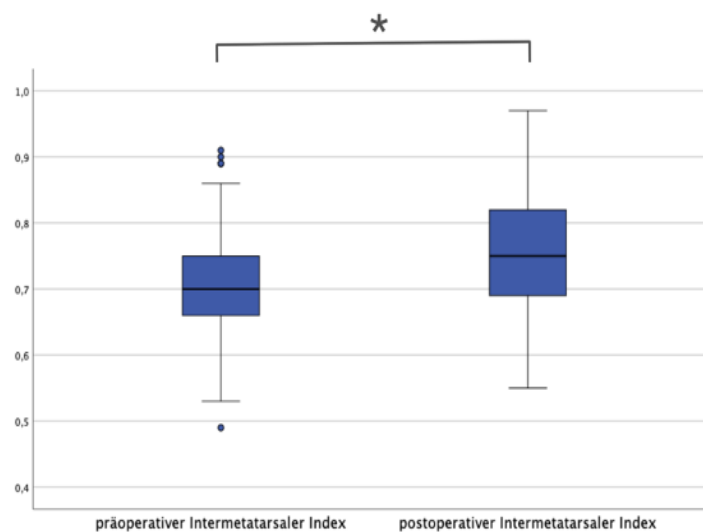


Abbildung 17: Prä- und postoperative Ergebnisse des Intermetatarsalen Index im Boxplot, die Veränderung war signifikant ($n=275$); die Veränderung ist im t-Test signifikant ($p<0,01$)

3.4 Stellung des tibialen Sesambeines

Bei den ausgewerteten Patientinnen waren lediglich die Positionen vier bis sieben zu finden, wobei die vierte Position nur unter den postoperativen Fällen vergeben wurde (s. Tabelle 1). Ein Großteil der Sesambeine (141) befand sich postoperativ an der gleichen Position wie präoperativ. In 120 Fällen verbesserte sich der Wert um einen und in 7 Fällen sogar um 2 Punkte. Fünf Mal befand sich das Sesambein nach der Operation in einer stärker lateralen Position. Es fällt auf, dass all diejenigen Patientinnen, deren Sesambeinposition sich durch die Operation verschlechterten, in der Gruppe der Patientinnen waren, deren IM-1/2-Winkel nach der Operation größer war als vor dem Eingriff.

Tabelle 1: Prä- und postoperative Ergebnisse der Sesambeinstellung (aufgeführt sind die Häufigkeiten der Positionen „1“ bis „7“, wobei die Kategorien „1“ bis „3“ nicht vorkamen)

		1	2	3	4	5	6	7	Fehlend
Präoperativ	Absolut					77	184	14	1
	in Prozent					27,9%	66,7%	5,1%	0,4%
Postoperativ	Absolut				3	186	83	1	3
	in Prozent				1,1%	67,4%	30,1%	0,4%	1,1%
Einteilung der Sesambeinstellung gemäß der Einteilung von Hardy & Clapham (s. Kapitel 2.3.4)									

3.5 Proximaler Gelenkflächenwinkel am Großzehengrundgelenk

Dieser Winkel wurde präoperativ in 274 Fällen bestimmt, postoperativ in 151 Fällen, da dieser Parameter bei Patientinnen, die mit einer distalen Korrekturosteotomie versorgt wurden, meist nicht bestimmbar war, da durch die Osteotomie und das eingebrachte Fremdmaterial die distale Gelenkfläche des Os metatarsale nicht mehr eindeutig abzugrenzen war.

Durch die Operation verringerten sich sowohl der Mittelwert als auch der maximal gemessene Wert (s. Abbildung 18 & Tabelle 16 im Anhang), der Mittelwert von $13,02^\circ$ ($SD \pm 7,91^\circ$) auf $4,51^\circ$ ($SD \pm 5,01^\circ$), das Maximum der Werte von $39,6^\circ$ auf $23,2^\circ$. Auch der minimal gemessene Wert verringerte sich von $-2,53^\circ$ auf $-9,45^\circ$, hier jedoch in negativere Werte. Die Verringerung des PASA postoperativ zu präoperativ war im t-Test signifikant ($t(151)=1,16$, $p<0,01$). Von den 152 Patientinnen, bei denen der PASA-Wert sowohl vor als auch nach der Operation vermessen werden konnte, lagen bei 133 Patientinnen negative Differenzen vor, das heißt der Wert verringerte sich durch die Operation. Lediglich 18 Fälle wurden

erfasst, in denen sich der Winkel postoperativ vergrößert hatte. Bei diesen Patientinnen konnte kein Zusammenhang zwischen den eingesetzten Operationsverfahren und der Verschlechterung des PASA-Wertes gezeigt werden, allerdings verschlechterte sich hier der FADI-Score bei allen Patientinnen.

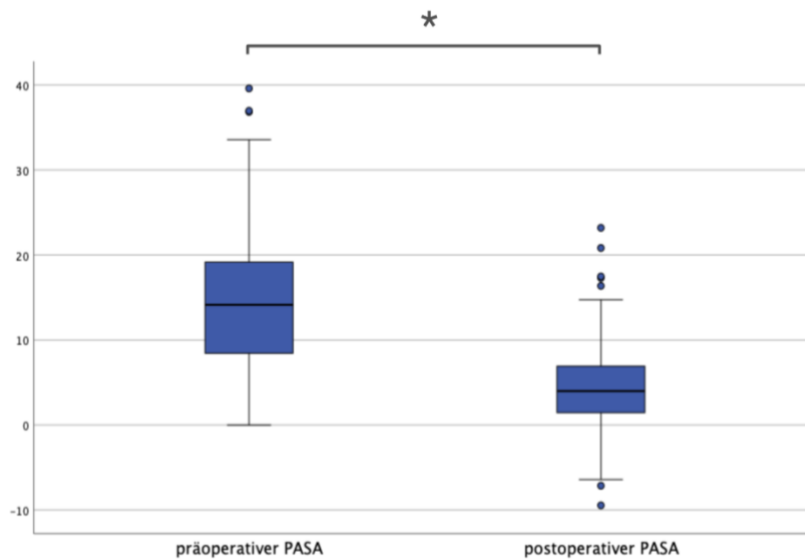


Abbildung 18: Prä- und postoperative Ergebnisse des PASA im Boxplot, die Punkte über den Graphen bilden jeweils Ausreißer ab ($n(\text{prä-OP})=274$, $n(\text{post-OP})=151$); die Veränderung war im t-Test signifikant ($p<0,01$)

3.6 Tarsometatarsale-1-Winkel & plantares Klaffen

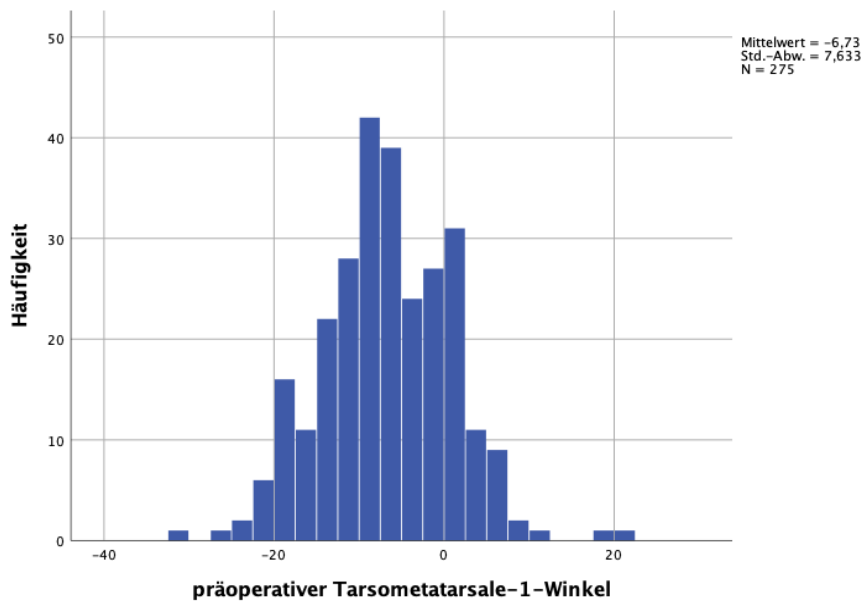


Abbildung 19: Präoperative Verteilung des Tarsometatarsale-1-Winkel im Histogramm; Normwertig bei -4° bis $+4^\circ$

Der Mittelwert der gemessenen TMT-1-Winkel (s. Abbildung 19, Tabelle 17 im Anhang) verringerte sich von präoperativ zu postoperativ von $-6,73^\circ$ ($SD \pm 7,63^\circ$) auf $-1,23^\circ$ ($SD \pm 6,86^\circ$). Außerdem näherten sich auch die minimal und maximal gemessenen Werte der Null und somit dem Normwert. Schlüsselte man den TMT-1-Winkel in die drei Kategorien „Normwertig“ (-4° bis 4°), „Pes planovalgus“ ($< -4^\circ$) und „Pes cavus“ ($> 4^\circ$) auf, verteilen sich die Fälle wie folgt: präoperativ liegen die Füße von 81 Patientinnen (29,3 %) radiologisch im Normbereich, bei 175 Patientinnen (63,4 %) liegt radiologisch ein Plattfuß oder Pes planovalgus vor und bei 20 Patientinnen (7,2 %) radiologisch ein Hohlfuß oder Pes cavus. Diese radiologischen Werte stimmten aber nur bedingt mit der klinischen Dokumentation über das Vorliegen von Pes cavus und planovalgus überein.

Postoperativ lagen 121 Fälle (43,8 %) im Normbereich, 92 Fälle (33,3 %) von der Gradzahl im Bereich des Pes planovalgus und 63 Fälle im Bereich des Pes cavus (22,8 %). Die Verringerung des TMT-1-Winkels postoperativ zu präoperativ war im t-Test signifikant ($t(272)=-12,79$, $p<0,01$).

Präoperativ klaffte der Gelenkspalt zwischen dem ersten Mittelfußknochen und dem Os cuneiforme 1 bei 91 Patientinnen (33 %) nach plantar, postoperativ verringerte sich die Anzahl der Patientinnen auf 15 Fälle (5,4 %). Ab einer

Gelenkspaltbreite von über 2 mm kann durch dieses plantare Klaffen auf eine Instabilität im TMT-1-Gelenk geschlossen werden (Zirngibl et al., 2017).

3.7 FADI-Score

Tabelle 18 im Anhang verschafft einen Überblick über die Ergebnisse und zeigt außerdem, wie hoch die Rate an drop-outs in der Studie ist (s. Kapitel 4.1.2). Während zu Beginn der Studie noch 276 Patientinnen eingeschlossen wurden, waren es sechs Monate nach Operation nur noch 226, nach einem Jahr noch 179 Patientinnen und nach 24 Monaten lediglich 120 Patientinnen, bei denen der FADI-Score erhoben werden konnte.

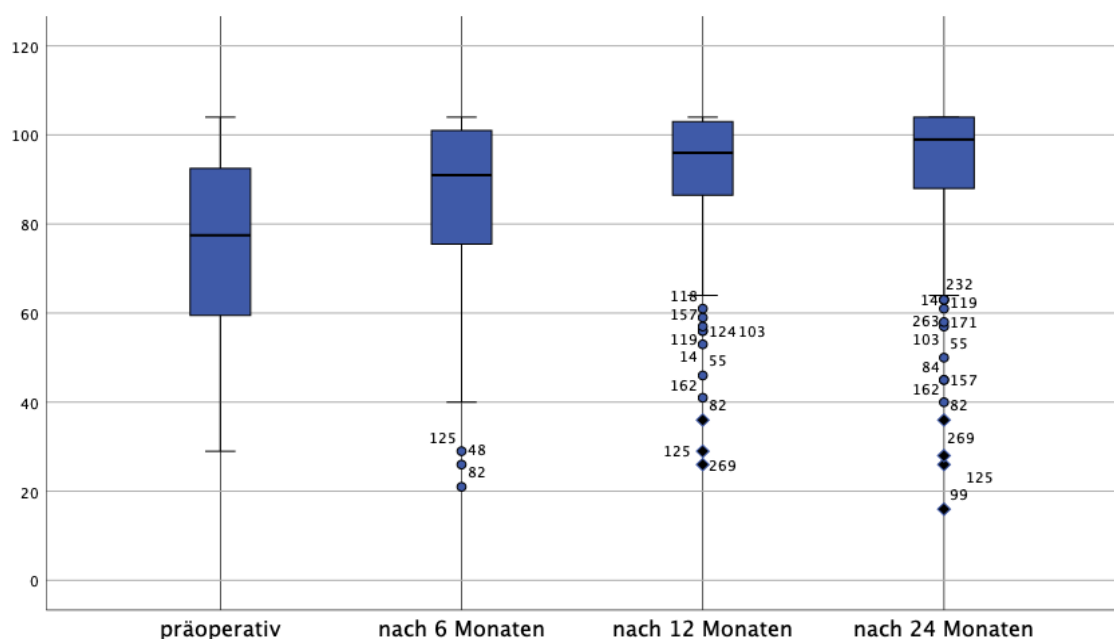


Abbildung 20: Prä- und 6, 12 & 24 Monate postoperative Ergebnisse des FADI-Scores im Boxplot; Punkte markieren Ausreißer, Rechtecke starke Ausreißer, die Zahlenwerte entsprechen der Patientinnennummer des Datensatzes ($n(\text{präoperativ})=276$, $n(\text{FADI } 6)=226$, $n(\text{FADI } 12)=179$, $n(\text{FADI } 24)=120$)

Der Mittelwert verbesserte sich über die Zeit (s. Abbildung 20). Um zu verdeutlichen, dass es sich bei den Ausreißern um Einzelfälle handelte, wurde die Beschriftung der Ausreißer nicht aus der Grafik entfernt.

Die Differenz des FADI-Scores nach 6, 12 oder 24 Monaten zum präoperativen Wert bildet die Entwicklung des FADI-Scores über die Zeit ab (s. Tabelle 2).

Tabelle 2: Veränderung des FADI-Scores prä- zu postoperativ nach positiven und negativen Veränderungen

		FADI 0 - 6	FADI 0 - 12	FADI 0 - 24
Postoperative Verbesserung	Absolut	155	138	100
	Prozentual	68,9 %	77,1 %	83,3 %
Postoperative Verschlechterung	Absolut	63	37	18
	Prozentual	28,0 %	20,7 %	15,0 %
Keine Differenz	Absolut	7	4	2
	Prozentual	3,1 %	2,2 %	1,7 %
Fehlend		51	97	120
FADI: Foot & Ankle Disability Index 0 – 6: Differenz des FADI nach sechs Monaten 0 – 12: Differenz des FADI nach zwölf Monaten 0 – 24: Differenz des FADI nach vierundzwanzig Monaten				

Da sich mit zunehmender Zeit postoperativ die Zahl der drop-outs vergrößerte, ist die prozentuale Verteilung ausschlaggebend. Es lässt sich erkennen, dass die Anzahl an Patientinnen, deren FADI-Score sich nach der Operation verbesserte, nach sechs Monaten noch bei 68,9 % lag, nach einem Jahr auf 77,1 % anstieg und nach zwei Jahren sogar 83,3 % betrug.

Um Zusammenhänge zwischen radiologischen Parameter und der Zufriedenheit der Patientinnen zu finden, wurde der Datensatz der 276 Patientinnen auf Korrelation zwischen dem FADI-Score präoperativ und nach 6, 12 und 24 Monaten und den radiologischen Parametern HV- und IM-Winkel jeweils prä- und postoperativ durchsucht. Hier konnte keine statistisch signifikante Korrelation gezeigt werden.

3.8 Operationsverfahren

Die verwendeten Techniken wurden von den Chirurginnen im Rahmen der vorliegenden Arbeit gemäß deren Einschätzungen und Erfahrungen patientinnenindividuell gewählt. Konkrete Vorgaben bestanden durch das Studienprotokoll nicht. Die Patientinnen wurden nicht randomisiert. Stattdessen wurde den behandelnden Chirurginnen ein Dokumentationsbogen für Diagnose und OP-Verfahren des Hallux valgus zur Verfügung gestellt (s. Kapitel 7.2).

Von den 276 operierten Patientinnen wurden 124 (44,9%) mit einer Umstellung nach Akin versorgt, 18 Patientinnen (6,5 %) mit einer Umstellung nach Austin und 42 Patientinnen (15,2%) wurden nach Reverdin-Green-Laird operiert. Dabei ist

festzuhalten, dass in 39 Fällen mehrere der eben genannten Operationsverfahren aus dem Bereich der distalen Umstellung kombiniert wurden. Dabei handelt es sich in 10 Fällen um eine kombinierte Anwendung der distalen Umstellung nach Akin mit Austin und in 19 Fällen um eine Kombination aus RGL und Akin.

Die Schaftumstellung mit dem Operationsverfahren nach Scarf wurde insgesamt neunmal durchgeführt, was 3,2 % der operierten Patientinnen entspricht. 120 Patientinnen (43,5 %) wurden mit einer TMT-I-Arthrodese versorgt. In 119 Fällen konnte nachvollzogen werden, ob im Rahmen der Operation eine Entknorpelung oder eine Resektion durchgeführt wurde: Ausschließlich entknorpelt wurde in 5 Fällen, eine Kombination aus Entknorpelung und Resektion kam in den übrigen 114 Fällen zur Anwendung. Eine MTP-I-Arthrodese erfolgte in 123 Fällen (44,6 %) (s. Abbildung 21).

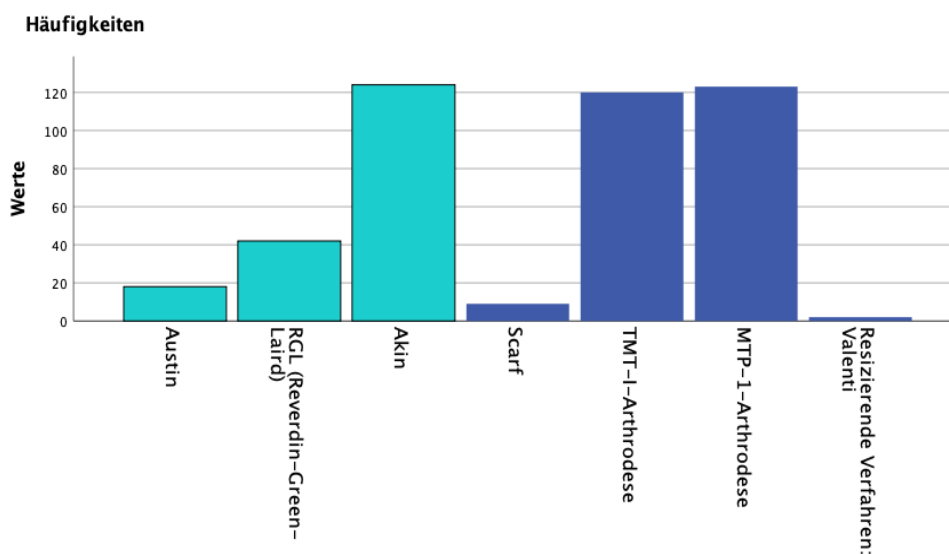


Abbildung 21: Absolute Häufigkeiten der verschiedenen Operationsverfahren; da verschiedene Techniken kombiniert wurden, übersteigt die Summe der Häufigkeiten die 276 eingeschlossenen Fälle; die distalen Umstellungsosteotomien wurden farblich hervorgehoben; Erläuterung der einzelnen Verfahren in Kapitel 1.5

In Tabelle 3 sind all jene Konstellationen an Operationsmethoden, ob einzeln oder in Kombination, und ihre Häufigkeiten aufgeführt, die im Rahmen dieser Arbeit öfter als fünfmal angewandt wurden.

Tabelle 3: Häufigkeit einzelner und kombinierter Operationsverfahren

	Austin	RGL	Akin	Schaftum- stellung	TMT-1- Arthrodese	MTP-1- Arthrodese	Anzahl
1.						x	89
2.			x		x		42
3.					x		35
4.			x			x	33
5.		x	x		x		29
6.		x			x		13
7.	x		x				10
8.	x						7
Beschreibung der einzelnen Operationsverfahren in Kapitel 3.5							

Es zeigt sich, dass die alleinige MTP-1-Arthrodese mit 89 Fällen mit Abstand am häufigsten zu finden war, dicht gefolgt von der TMT-1-Arthrodese alleine oder kombiniert mit einer distalen Umstellung nach Akin.

Tabelle 19 im Anhang (s. Kapitel 7.4) gibt einen Überblick darüber, wie sich durch die mehr als zehnmals verwendeten Eingriffe der IM-Winkel, der HV-Winkel und der Metatarsalindex verändert haben. Zusätzlich lässt sich ablesen, wie die Patientinnenzufriedenheit, abgebildet über den FADI Score, durch die Operation beeinflusst wird. Angegeben wird der Δ FADI nach 6, 12 und 24 Monaten postoperativ. Die radiologischen Parameter werden als Δ IM, Δ HV und Δ Metatarsalindex angegeben, als Differenz zwischen den prä- und postoperativ gemessenen Werten.

Betrachtet man die jeweiligen Eingriffe getrennt voneinander, war nach TMT-1-Arthrodese ($M = 7,52$, $SD = 3,625$) der IM-1/2-Winkel im Vergleich zu den Patientinnen, bei denen ein anderes Verfahren zur Anwendung kam ($M = 2,71$, $SD = 3,08$) stärker verbessert. Der HV-Winkel war nach diesem Eingriff ($M = 14,12$, $SD = 9,07$) gegenüber Patientinnen mit anderem Eingriff ($M = 6,84$, $SD = 10,22$) stärker verbessert. Auch der Intermetatarsale Index war nach TMT-1-Arthrodese ($M = -0,12$, $SD = 0,09$) im Vergleich zu anderen Eingriffen ($M = 0,00$, $SD = 0,09$) stärker verbessert.

Formal ergaben sich nach MTP-1-Arthrodese schlechtere radiologische Werte des IM-1/2-Winkels als nach einer TMT-1-Arthrodese alleine oder in Kombination mit

distaler Umstellung nach Akin oder durch die Kombination mit den distalen Umstellungen nach Akin und RGL.

Allerdings wurde die MTP-1-Arthrodese bei fortgeschrittener Arthrose des Großzehengrundgelenks durchgeführt, so dass diese Ergebnisse anders interpretiert werden müssen (s.u.).

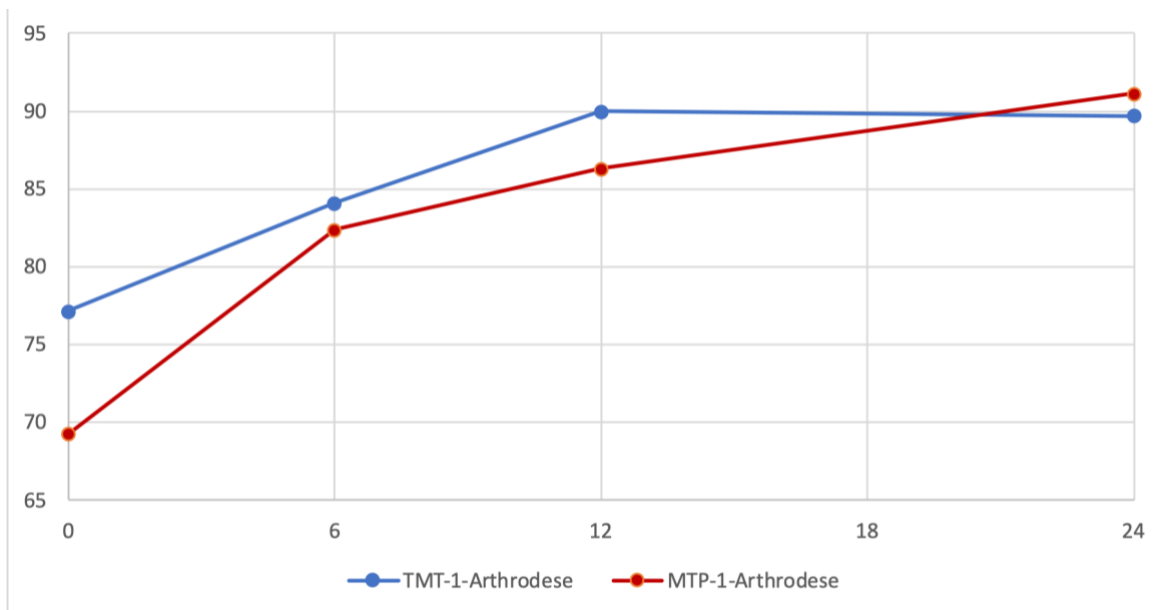


Abbildung 22: Entwicklung des FADI-Scores nach TMT-1-Arthrodese und MTP-1-Arthrodese über die Zeit

Die subjektive Patientinnenzufriedenheit anhand des FADI-Wertes (s. Abbildung 22) zeigt, dass die Patientinnen, die mit einer TMT-1-Arthrodese versorgt wurden, präoperativ weniger Beschwerden hatten als Patientinnen, die mit anderen Verfahren versorgt wurden. Für Letztere lag der durchschnittliche präoperative Wert des FADI-Scores bei 70,78 (Standardabweichung 19,7), während mit TMT-1-Arthrodese versorgte Patientinnen einen durchschnittlichen Wert von 77,14 aufwiesen (Standardabweichung 16,9). Wie in Abbildung 22 sichtbar wird, ist die präoperative Zufriedenheit der Patientinnen, die mit einer TMT-1-Arthrodese versorgt wurden größer als die derjenigen, welche mit einer MTP-Arthrodese versorgt wurden. Der FADI-Score stieg jedoch bei letztgenannter Gruppe initial stärker an und erreichte nach 24 Monaten auch höhere Werte als bei der TMT-1-Arthrodese. Postoperativ war der FADI-Score für alle Gruppen verbessert.

Die Versorgung mit der TMT-1-Arthrodeese alleine oder in Kombination mit anderen Verfahren führte im Mittel zur größten Verbesserung der radiologischen Messwerte. Für die Verbesserung des IM- und des HV-Winkels sowie des Intermetatarsalen Index scheint eine Kombination aus einer TMT-1-Arthrodeese und einer distalen Umstellung nach Akin bzw. zusätzlich nach RGL am besten geeignet zu sein. Die Kombination aus Akin und Austin erzielt eine geringere Verbesserung von IM-1/2- und HV-Winkel, verbessert aber den TMT-1-Winkel der Patientinnen sowie deren subjektiven Zufriedenheit stärker. Eine Varianzanalyse der Operationsverfahren zeigte jedoch nur p-Werte $< 0,05$ für die radiologischen Parameter, nicht für die FADI-Scores, was bedeutet, dass nur für die radiologischen Parameter von einer Abhängigkeit der Operationsverfahren ausgegangen werden darf.

3.9 Instabilität im TMT-1-Gelenk

Da die TMT-1-Korrekturarthrodeese bei Instabilität dieses Gelenkes auch bei milde ausgeprägtem Hallux valgus indiziert sein kann (Waizy & Fachgesellschaft, 2014), wurde im Rahmen vorliegender Arbeit untersucht, ob tatsächlich diejenigen Füße mit einer Instabilität des Gelenkes eher mit einer TMT-1-Arthrodeese behandelt wurden (s. Tabelle 4).

Tabelle 4: Kreuztabelle bezüglich Stabilität im TMT-1-Gelenk und Verwendung der TMT-1-Arthrodeese

		Keine TMT-1-Arthrodeese	TMT-1-Arthrodeese	Gesamt
Stabiles TMT-1-Gelenk	Anzahl	80	15	95
	% der Gesamtzahl	29,00%	5,40%	34,40%
Instabiles TMT-1-Gelenk	Anzahl	76	105	181
	% der Gesamtzahl	27,50%	38,00%	65,60%
Gesamt	Anzahl	156	120	276
	% der Gesamtzahl	56,50%	43,50%	100%
TMT-1-: Tarsometatarsale-1-				

Es zeigt sich, dass die TMT-1-Arthrodeese tatsächlich häufiger verwendet wurde, wenn eine Instabilität im betroffenen Gelenk gefunden wurde ($p < 0,01$ im Chi-Quadrat-Test).

Abgesehen davon konnte in vorliegendem Datensatz gezeigt werden, dass die Patientinnen, bei denen klinisch eine Instabilität des TMT-1-Gelenkes

dokumentiert wurde, seltener mit einer MTP-1-Arthrodesse versorgt wurden, als jene ohne Instabilität.

Es wird ein Zusammenhang zwischen dem radiologischen Befund des plantaren Klaffens zwischen dem ersten Os metatarsale und dem Os cuneiforme und der klinischen Instabilität des 1. Strahls postuliert (Zirngibl et al., 2017). Ein Abstand von über 2 mm soll hiernach als Indiz für das Vorliegen einer relevanten TMT-1-Instabilität gelten. Dies ließ sich mit vorliegendem Datensatz nicht rekonstruieren. Es zeigte sich im Chi-Quadrat-Test kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem plantaren Klaffen und dem dokumentierten klinischen Befund eines in der Frontal- oder Sagitalebene instabilen TMT-1-Gelenkes ($p=57$). Da sich die dokumentierte Instabilität im TMT-1-Gelenk auf eine Instabilität in der Sagital- und in der Frontalebene aufteilt, wurde außerdem untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen dieser Instabilität und dem radiologischen Parameter gibt, der diese jeweils am besten abbilden sollte. Für die Instabilität in der Frontalebene wurde der Intermetatarsale-1/2-Winkel herangezogen. Jedoch zeigte sich hier kein bzw. nur ein sehr geringer Zusammenhang (Eta-Koeffizient: 0,11). Gleiches galt für die Instabilität in der Sagitalebene, abgebildet durch den TMT-1-Winkel, da auch hier lediglich ein sehr geringer Zusammenhang bestand (Eta-Koeffizient: 0,108).

3.10 Vergleich radiologischer Parameter

Um herauszufinden, inwieweit andere radiologische Parameter mit dem IM-1/2- und dem HV-Winkel korrelieren, wurde für die verschiedenen intervallskalierten Parameter mithilfe der Korrelationskoeffizient nach Pearson bestimmt. Es ist zu beachten, dass hier keine Korrektur einer Alpha-Fehler-Kumulierung durchgeführt wurde. Als Cut-off-Wert für im Folgenden genannte Korrelationen wurde ein p -Wert $< 0,01$ festgelegt: Eine Korrelation der präoperativen Parameter mit dem präoperativen IM-1/2-Winkel fand sich für den HV-Winkel (Pearson: 0,68; $p<0,01$), den Intermetatarsalen Index (Pearson: -0,71; $p<0,01$) sowie für den PASA (Pearson: 0,54; $p<0,01$). Für den präoperativen HV-Winkel gab es eine derartige Korrelation für den IM-1/2-Winkel (Pearson: 0,68; $p<0,01$), den Intermetatarsalen Index (Pearson: -0,52; $p<0,01$) und ebenfalls für den PASA (Pearson: 0,77; $p<0,01$). Für den präoperativen TMT-1-Winkel konnte keine Korrelation mit dem HV- oder dem IM-1/2-Winkel gefunden werden.

Um die ordinalskalierte Sesambeinstellung und die intervallskalierten HV- und IM-1/2-Winkel auf Korrelation zu untersuchen, wurden die beiden Winkel in die von der AWMF angegebenen Kategorien eingeteilt (s. Kapitel 3.12). Da es sich nun um jeweils zwei Parameter auf einer Ordinalskala handelt, wurden die Messwerte nach Spearman-Rho auf Korrelation untersucht. Es fand sich mit beiden Verfahren eine Korrelation zwischen dem präoperativen IM-1/2- und HV-Winkel und der Stellung des Sesambeines.

Für die postoperativen Werte der genannten Parameter fanden sich nahezu die gleichen Korrelationen. So korrelierte auch postoperativ die Sesambeinstellung mit dem IM-1/2- und dem HV-Winkel. Unter den postoperativ gemessenen intervallskalierten Parametern konnte eine Korrelation zwischen dem Intermetatarsale-1/2-Winkel und dem HV-Winkel, dem TMT-1-Winkel sowie dem Intermetatarsalen Index gezeigt werden. Für den postoperativen PASA-Wert lag keine Korrelation zum IM-1/2-Winkel vor. Der postoperative HV-Winkel korrelierte mit dem IM-1/2-Winkel, dem postoperativen PASA und dem Intermetatarsalen Index. Hier konnte keine Korrelation mit dem TMT-1-Winkel gefunden werden. Die Korrelationsmatrix der metrisch skalierten Messparameter findet sich im Anhang.

3.11 Inter- & Intraobserver Reliabilität

Für die Intraobserver Reliabilität (s. Tabelle 20 im Anhang, erster Teil) wurde die Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) der eben beschriebenen Messreihen bestimmt. Für den präoperativen IM-Winkel hatte AÄ3 mit einem Wert von 0,988 (95%-KI: [0,969; 0,995]) einen höheren ICC als FOA (0,959 [0,896; 0,984]), der einen höheren ICC als S (0,943 [0,861; 0,978]) und dieser einen höheren ICC als FÄ1 (0,906 [0,739; 0,965]). Für den präoperativen HV-Winkel hatte AÄ3 (0,994 [0,985; 0,998]) einen höheren ICC als S (0,979 [0,941; 0,992]), dieser einen höheren ICC als FOA (0,966 [0,915; 0,986]) und dieser einen höheren ICC als FÄ1 (0,950 [0,874; 0,980]). Für den präoperativen Intermetatarsalen Index hatte S den höchsten ICC (0,959 [0,899; 0,984]), den nächsthöchsten ICC erreichte FOA (0,934 [0,818; 0,975]), den nächsthöchsten AÄ3 (0,928 [0,827; 0,972]) und den niedrigsten ICC wiesen die Messungen FÄ1 (0,307 [-0,112; 0,668]) auf. Die Konfidenzintervalle (KI) der Messungen haben jedoch in den meisten Fällen einen großen Überschneidungsbereich, weshalb davon auszugehen ist, dass die

Reliabilität vergleichbar ist. Auch konnte keine Regelmäßigkeit darüber gezeigt werden, ob die Reliabilität wiederholter Messungen mit der klinischen Expertise zunimmt.

Die gleiche Methodik wurde angewandt um die Interobserver Reliabilität zu untersuchen (s. Tabelle 20, Anhang, zweiter Teil). Hier wurde jeweils die erste Messung der unterschiedlichen Untersucherinnen auf den ICC untersucht. Auch hier zeigten sich zwar Unterschiede in den ICC der Untersucherinnen untereinander, die Konfidenzintervalle überschritten sich aber auch hier mitunter stark, weshalb von einer vergleichbaren Reliabilität ausgegangen werden kann.

3.12 Zuordnung Schweregrad

Sowohl die Leitlinie zur Behandlung des Hallux valgus der AWMF (Waizy & Fachgesellschaft, 2014) als auch die im angloamerikanischen Raum gängige Einteilung nach Ray et. al (Ray et al., 2019) gliedern die Hallux valgus-Fehlstellung anhand des Intermetatarsal-1/2-Winkels und des Hallux-valgus-Winkels in verschiedene Schweregrade (s. Tabelle 5) und verwenden diese später zur Therapieplanung. In Tabelle 6 und Tabelle 7 ist aufgetragen, wie viele Fälle unter den jeweiligen Schweregrad fallen, abhängig davon, ob der HV- oder der IM-1/2-Winkel betrachtet wird.

Tabelle 5: Hallux-valgus-Schweregrade der AWMF-Leitlinie nach Waizy, H. & Fachgesellschaft, 2014 im Vergleich mit der Einteilung nach Ray et al.; jeweils Hallux-valgus- und Intermetatarsale-1/2-Winkel

		Normal	Mild	Moderat	Schwer
HV-Winkel	AWMF		21° - 30°	31° - 40°	> 40°
	Ray et al.	< 15°	< 20°	20° - 40°	> 40°
IM-1/2-Winkel	AWMF		10° - 15°	16° - 20°	> 20°
	Ray et al.	< 9°	9° - 11°	11° - 16°	> 16°
HV: Hallux-valgus IM-1/2: Intermetatarsale-1/2 AWMF: Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.					

Tabelle 6: Häufigkeiten der Schweregrade, in Abhängigkeit vom Hallux-valgus-Winkel, jeweils nach AWMF sowie Ray et al.

Grad nach HV-Winkel	Häufigkeit nach AWMF	Prozent nach AWMF	Häufigkeit nach Ray et al.	Prozent nach Ray et al.
0	102	37,0%	48	17,4%
1	88	31,9%	44	15,9%
2	62	22,5%	160	58,0%
3	24	8,7%	24	8,7%

HV: Hallux-valgus
AWMF: Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.

Tabelle 7: Häufigkeiten der Schweregrade, in Abhängigkeit vom Intermetatarsale-1/2-Winkel, jeweils nach AWMF sowie nach Ray et al.

Grad nach IM-1/2-Winkel	Häufigkeit nach AWMF	Prozent nach AWMF	Häufigkeit nach Ray et al.	Prozent nach Ray et al.
0	105	38,0%	46	16,7%
1	114	41,3%	59	21,4%
2	54	19,6%	136	49,3%
3	3	1,1%	35	12,7%

IM-1/2-: Intermetatarsale-1/2-
AWMF: Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.

Aus dieser Einteilung ergeben sich folgende zwei Problembereiche:

1. Einzelne Patientinnen werden je nach gemessenem Winkel in unterschiedliche Schweregrade eingeteilt. So hat beispielsweise nicht jede Patientin, die entsprechend ihres Intermetatarsale-1/2-Winkels an einem moderat ausgeprägten Hallux valgus leidet, einen entsprechenden Hallux-valgus-Winkel. Dass die verschiedenen Kategorien häufig nicht übereinstimmen, verdeutlicht die folgende Kreuztabelle anhand der Einteilung der AWMF (Tabelle 8).

Tabelle 8: Kreuztabelle der Schweregrade nach HV- & IM-1/2-Winkel, nur die farblich hervorgehobenen Felder stimmen in Intermetatarsale-1/2- sowie Hallux-valgus-Winkel überein

		Präoperativer HV-Winkel in Kategorien				
		0	1	2	3	Gesamt
Präoperativer IM-1/2-Winkel in Kategorien	0	71	25	8	1	105
	1	29	52	27	6	114
	2	2	11	25	16	54
	3	0	0	2	1	3
	Gesamt	102	88	62	24	276

IM-1/2-: Intermetatarsale-1/2-
HV-: Hallux-valgus-

Die blau markierten Felder zeigen diejenigen Patientinnen in absoluten Zahlen, bei denen die beiden genannten Kategorien übereinstimmen. 127 der 276 Patientinnen (46%) lassen sich nicht eindeutig kategorisieren. Dieses Problem lässt sich beheben, indem eine einheitliche Einteilung in Schweregrade anhand der Summe des Intermetatarsale-1/2-Winkels und des Hallux-valgus-Winkels erfolgt (s. Tabelle 9).

Tabelle 9: Über die Summe errechnete alternative Schweregrad-Einteilung sowie der Schweregrad laut AWMF-Leitlinie, Summenkategorie ist farblich hervorgehoben

	Mild	Moderat	Schwer
IM-Winkel	11° - 15°	16° - 20°	> 20°
HV-Winkel	21° - 30°	31° - 40°	> 40°
Summe IM & HV (Leitlinie)	32° - 45°	47° - 60°	> 60°

IM-1/2-: Intermetatarsale-1/2-
HV-: Hallux-valgus-

Dies wird die Trennschärfe der Klassifikation erhöhen. Allerdings müssten die Grenzen zwischen „mild“ und „moderat“ verschoben werden, da ansonsten der Bereich von 45° bis 47° nicht abgedeckt wäre. Die Verteilung des in vorliegender Arbeit betrachteten Patientinnenkollektivs in beschriebener Summeneinteilung wurde in Tabelle 10 aufgetragen.

Tabelle 10: Häufigkeiten der jeweiligen Kategorien, Einteilung nach der Summe von Hallux-valgus- und Intermetatarsale-1/2-Winkel

Kategorie	Häufigkeit	Prozent
0	97	35,1%
1	112	40,6%
2	50	18,1%
3	17	6,2%

2. Nicht jeder behandlungsbedürftige Hallux valgus überschreitet trotz subjektiver Beschwerden die erforderliche Gradzahl, um laut Definition in die Gruppe eines „milden Schweregrades“ eingeteilt zu werden. In der uns vorliegenden Stichprobe von 276 Patientinnen fallen laut AWMF-Einteilung je nach verwendetem Winkel 38 % bzw. 37 % in diese Kategorie, mehr als ein Drittel der Fälle wäre also operiert worden, ohne dass die Kriterien für das Vorhandensein eines Hallux valgus erfüllt worden wären.

Eine Arthrose im Sinne eines Hallux rigidus käme in Frage, den Leidensdruck der Patientinnen erhöht zu haben. Um sich dieser Fragestellung anzunehmen, sieht man im Folgenden in Tabelle 11 und Tabelle 12 die Verteilung des Arthrosegades in den verschiedenen, von der AWMF-Leitlinie empfohlenen Kategorien.

Tabelle 11: Kreuztabelle präoperativer Hallux-valgus-Winkel & Arthrosegrad

		Präoperativer HV-Winkel in Kategorien				
		0	1	2	3	Gesamt
Arthrosegrad	0	66	68	51	17	202
	1	5	4	5	3	17
	2	6	5	2	2	15
	3	12	7	3	0	22
	4	13	4	1	2	20
	Gesamt	102	88	62	24	276

HV-: Hallux-valgus-

Tabelle 12: Kreuztabelle präoperativer Intermetatarsale-1/2-Winkel & Arthrosegrad

		Präoperativer IM-1/2-Winkel in Kategorien				
		0	1	2	3	Gesamt
Arthrosegrad	0	66	91	43	2	202
	1	5	8	4	0	17
	2	8	3	4	0	15
	3	12	8	1	1	22
	4	14	4	2	0	20
	Gesamt	105	114	54	3	276

IM-1/2-: Intermetatarsale-1/2-

Betrachtet man diese beiden Tabellen, fallen zwei Tatsachen besonders auf. Zum einen, dass bei manchen Patientinnen, welche anhand der Winkelgröße nicht an einem Hallux valgus litten, ein Hallux rigidus vorlag. Zwar sind sowohl nach der Einteilung anhand des IM-Winkels als auch anhand des HV-Winkels die Mehrzahl genannter Patientinnen arthrosefrei, jedoch besteht bei 35 % der Patientinnen aus der physiologischen Kategorie eingeteilt nach HV-Winkel ein Hallux rigidus. Eingeteilt nach IM-Winkel leiden 37% der Patientinnen an einer Arthrose. Zum anderen fällt auf, dass jene Gruppe, die an einem schwer ausgeprägtem Hallux valgus leidet, die geringere Anzahl an Patientinnen mit Arthrose aufweist.

3.13 Zusammenfassung der Ergebnisse

Anhand der oben genannten Ergebnisse lassen sich folgende Kernaussagen treffen:

1. Die radiologischen Messparameter IM-1/2-Winkel, HV-Winkel, Intermetatarsaler Index, PASA und TMT-1-Winkel waren postoperativ im Vergleich zu präoperativ signifikant verbessert ($p < 0,01$), unabhängig vom durchgeführten Operationsverfahren.
 - Der HV- und der IM-1/2-Winkel verbesserten sich am stärksten durch die TMT-1-Arthrodese bzw. durch Kombinationen aus TMT-1-Arthrodese und den distalen Umstellungen nach Akin und RGL.
2. Die Zufriedenheit der Patientinnen, abgebildet über den FADI-Score, korreliert nicht mit dem Ausmaß der radiologischen Korrektur.

3. Aus den vorliegenden Daten konnten keine signifikanten Aussagen darüber getroffen werden, welches Operationsverfahren die Patientinnenzufriedenheit am stärksten beeinflusst.
4. In wiederholten Messungen durch verschiedene Untersucherinnen wurden vergleichbare Inter- und Intraobserver Reliabilitäten für strecken- und winkelbasierte Messverfahren gezeigt, so dass sich kein Vorteil für Winkel- oder Streckenmessung in der Hallux-valgus-Diagnostik ergibt. Auch eine Verbesserung der Reliabilität durch höhere klinische Expertise konnte nicht gezeigt werden.
5. Die gängige Schweregradeinteilung des Hallux valgus durch HV- und IM-1/2-Winkel sollte aus der Summe beider Winkel gebildet werden, anstatt aus beiden Winkeln alleine, da sich ansonsten Patientinnen nicht eindeutig einem Schweregrad zuordnen lassen.

4 Diskussion

Vorliegende Arbeit hatte das Ziel, verschiedene – klinische und radiologische – Parameter zur Quantifizierung des Hallux valgus zu untersuchen, herkömmliche und neue Messgrößen zu vergleichen sowie diese den unterschiedlichen Operationsverfahren und der subjektiven Zufriedenheit der Patientinnen prä- und postoperativ gegenüberzustellen.

Die Alters- und Geschlechtsverteilung ähnelt der in der Fachliteratur beschriebenen: Coughlin und Jones zeigten in einer Studie ein mittleres Alter von 50 Jahren, bei einer Spannweite von 22 bis 78 Jahren (Coughlin & Jones, 2007), Scranton und McDermott wiesen in einer Arbeit 42 Patienten und Patientinnen im Alter von 18 bis 72 Jahren einen Altersschnitt von 49 auf (Scranton & McDermott, 1995), was vergleichbar ist mit der Altersverteilung unserer Arbeit, in welcher das mittlere Alter bei 55 Jahren lag und die Spannweite 15 bis 81 Jahren betrug. In der zuletzt genannten Studie waren 92 % der Fälle weiblichen Geschlechtes, in vorliegender Arbeit waren es 89,1 %.

Es wurden HV-, IM-1/2-Winkel, Sesambeinstellung, Intermetatarsaler Index, PASA sowie der TMT-1-Winkel bestimmt und ausgewertet (Iliou et al., 2019; Opsomer et al., 2010; Venning, 1951; Waldt, 2017; Wülker & Mittag, 2012; Zirngibl et al., 2017). Des Weiteren wurde der FADI-Score erfasst (Martin et al., 1999), durch den die subjektive Patientinnenzufriedenheit eruiert werden sollte.

Der Intermetatarsale-1/2-Winkel, der Hallux-valgus-Winkel, der Intermetatarsale Index, der PASA und der TMT-1-Winkel waren postoperativ signifikant verringert, der FADI-Score war im Vergleich von prä- zu postoperativ nach sechs, zwölf und vierundzwanzig Monaten erhöht. Bei einer Minderheit der Patientinnen waren die radiologischen Parameter nach der Operation verschlechtert, wobei es sich hierbei vor allem um Patientinnen mit gleichzeitig vorliegendem Hallux rigidus handelte.

Der HV-, IM-1/2-Winkel und Intermetatarsaler Index waren nach der TMT-1-Arthrodese stärker verbessert als bei Patientinnen, die mit einem anderen Operationsverfahren versorgt wurden. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass dieses Verfahren insbesondere bei Patientinnen angewendet wird, die eine stärkere Deformität aufweisen (Helmer, 2009; Wülker & Mittag, 2012), was auch ein größeres Korrekturpotential im Sinne einer Winkelverbesserung birgt. Auch Busch et al. fanden eine signifikante Verbesserung der radiologischen Messwerte

sowie des FADI-Scores durch die TMT-1-Arthrodeese nach Lapidus, wobei der FADI-Score niedriger war bei den Patientinnen, die postoperativ an einer Transfermetatarsalgie litten (Busch et al., 2020).

Auch wenn in der Literatur eine subjektive Patientinnenzufriedenheit nach Lapidus-Arthrodeese von ca. 74 - 96 % zu finden ist (Plaaß et al., 2017), waren die Ergebnisse des FADI-Scores im Rahmen vorliegender Arbeit postoperativ im Vergleich zu präoperativ bei anderen Operationsverfahren besser. So war der FADI-Score beispielsweise nach den distalen Umstellungen nach Austin und Akin nach sechs und nach zwölf Monaten stärker verbessert als bei mit TMT-1-Arthrodeese operierten Patientinnen, wobei der Ausgangs-FADI beider Gruppen keinen signifikanten Unterschied zeigte. Die distalen Umstellungen könnten daher vordergründig geeigneter erscheinen, die subjektive Patientinnenzufriedenheit zu verbessern. Jedoch zeigte eine Varianzanalyse, dass sich aus den vorliegenden Daten keine statistisch signifikanten Aussagen darüber treffen lassen, welches Operationsverfahren die Zufriedenheit der Patientinnen am stärksten beeinflusst.

Ein Großteil der Eingriffe kam kombiniert zur Anwendung (s. Kapitel 3.8). Die MTP-1-Arthrodeese wurde mit 89 Fällen in vorliegender Gruppe am häufigsten verwendet. Es ist jedoch essentiell hierbei zu beachten, dass die Indikation dieses Eingriffes der Hallux rigidus ist (Sheweidin Aziz, Annette Jones, 2021). Die MTP-1-Arthrodeese wird zusätzlich häufig bei weit fortgeschrittener Arthrose beim Hallux valgus oder als Salvage-OP angewandt, wenn eine primäre Operation nicht erfolgreich gewesen ist (Daniilidis et al., 2019). Daher sind die radiologischen Ergebnisse auch schlechter als beispielsweise die Verwendung einer Kombination aus TMT-1-Arthrodeese, Akin und RGL, beziehungsweise nur der TMT-1-Arthrodeese (s. Kapitel 3.8). Auf der anderen Seite resultiert die MTP-1-Arthrodeese häufig in besseren klinischen Ergebnissen, da sowohl die präoperativen Beschwerden bei diesem Patientinnenkollektiv größer sind als beim alleinigen Hallux valgus als auch die Fusion des Gelenkes zwar zu einer geringeren Mobilität des ersten Strahles führt, jedoch die Schmerzen zuverlässiger beseitigt. Gibson et. al verglichen die Schmerzreduktion nach einer Arthrodeese und einer Totalendoprothese bei Hallux-rigidus-Patientinnen miteinander und zeigten zwar für beide Verfahren eine signifikante Schmerzreduktion, die Linderung der Schmerzen war jedoch für die Arthrodeese signifikant stärker als nach einer Totalendoprothese (Gibson & Thomson, 2005). Und auch in vorliegenden Daten

waren die klinischen Ergebnisse, abgebildet durch den FADI-Score, nach der MTP-1-Arthrodeese am besten (siehe Kapitel 3.8.).

Obwohl sich eine Erhöhung des FADI-Scores post- zu präoperativ zeigte, konnte keine Korrelation zwischen herkömmlichen radiologischen Parametern und dem FADI-Score gezeigt werden. Daraus ergeben sich zwei mögliche Folgerungen:

1. Es gibt keinen Zusammenhang zwischen radiologischer Korrektur und „patient-reported outcome“
2. Es gibt einen Zusammenhang, der FADI-Score ist jedoch ungeeignet, das „patient-reported outcome“ beim Hallux valgus abzubilden

Matthews et al. fanden keine starke Korrelation zwischen „patient-reported outcome“ und radiologischen Messwerten (Matthews et al., 2018). Allerdings wurde hier mit dem „FAOS“ (Foot and Ankle Outcome Score) ein alternativer Score verwendet. Eine Vergleichsarbeit, in der anstelle des FADI-Scores der modifizierte Kitaoka-Score verwendet wurde, konnte ebenfalls keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen den erfassten radiologischen Parametern und dem Score zur Patientinnenzufriedenheit zeigen (Helmer, 2009). Bei dem in genannter Arbeit verwendeten Kitaoka-Score handelt es sich um einen weiteren Score zur Beschwerdequantifizierung bzw. zur Erfassung der Funktionalität des Fußes mit Ergebnissen von null bis maximal hundert Punkten (Kitaoka et al., 2014). Auch Lewis et al. konnten keine Korrelation zwischen den radiologischen Parametern und der Patientinnenzufriedenheit zeigen (Lewis et al., 2022). Eine Arbeit, die auch die Korrelation zwischen FADI-Score und radiologischem Outcome untersucht, ist nicht bekannt. Dass drei unabhängige Arbeiten mit unterschiedlichen Scores zur Beurteilung des „patient-reported outcomes“ keine statistisch signifikante Korrelation zwischen radiologischen Parametern und Zufriedenheit der Patientinnen finden konnten, spricht eher dafür, dass es hier keinen Zusammenhang gibt. Chen et al. zeigten ebenfalls, dass der IM-1/2-Winkel und der HV-Winkel keine Korrelation zur Patientinnenzufriedenheit aufwiesen, konnten jedoch eine Korrelation zwischen der postoperativen Sesambeinposition und der Zufriedenheit zeigen (Chen et al., 2016).

Barg et al. hingegen fanden in ihrer systematischen Literatur-Recherche eine negative Korrelation zwischen dem präoperativen IM-1/2-Winkel und der postoperativen Unzufriedenheit (Barg et al., 2018), war der präoperative IM-1/2-

Winkel also größer, war die postoperative Zufriedenheit auch größer. Hieraus wurde geschlossen, dass Patientinnen mit geringeren präoperativen IM-1/2-Winkeln unzufriedener mit dem Ergebnis des Eingriffes waren, als jene mit höheren IM-1/2-Winkeln (Barg et al., 2018). Es könnte umgedreht aber auch daran liegen, dass Patientinnen mit höheren IM-1/2-Winkeln präoperativ mehr Beschwerden aufwiesen. Die eben genannte Korrelation zeigte sich in vorliegender Arbeit nicht. Bei der Metaanalyse von Barg et al. kamen 18 verschiedene Verfahren zur Erfassung der Patientinnenzufriedenheit zur Anwendung, wobei einige Arbeiten Variablen mit nur zwei Merkmalsausprägungen verwendeten, während andere auf ordinal- oder intervallskalierte Parameter zurückgriffen (Barg et al., 2018). Möglicherweise verzerrt also die Verwendung allzu verschiedener Messmethoden das Ergebnis.

Um den im klinischen Alltag am besten geeigneten Parameter in der Hallux-valgus-Diagnostik zu finden, sollten verschiedene gängige Parameter zunächst miteinander verglichen werden. Dann sollte der Parameter identifiziert werden, der am besten mit der subjektiven Patientinnenzufriedenheit korreliert (hier abgebildet durch den FADI-Score). Abschließend sollte dann auch die Reliabilität dieses Messwertes beurteilt werden, indem untersucht wurde, wie groß die Unterschiede wiederholter Messungen des selben und unterschiedlicher Untersucher waren. Es konnte mit den vorhandenen Daten nach dem Korrelations-Koeffizienten (Produkt-Moment-Korrelation) eine Korrelation zwischen dem HV-, dem IM-1/2-Winkel, dem PASA und dem Intermetatarsalen Index gezeigt werden. Auch die Stellung des Sesambeines und der HV- und IM-1/2-Winkel korrelierten in der vorliegenden Gruppe sowohl prä- als auch postoperativ, was sich mit den Ergebnissen von Andrew J. Meyr deckt (Meyr, 2022). Lediglich der im lateralen Strahlengang erfasste TMT-1-Winkel korrelierte nicht mit dem Hallux-valgus-Winkel, dem Intermetatarsale-1/2-Winkel oder einem der anderen Parameter. Auch die klinisch dokumentierte Instabilität des TMT-1-Gelenkes in unterschiedlichen Ebenen korrelierte in vorliegender Arbeit, anders als man es erwarten würde (Zirngibl et al., 2017), nicht mit dem IM-1/2-Winkel oder dem TMT-1-Winkel. Eine Korrelation zwischen dem Vorliegen eines plantaren Klaffens im lateralen Strahlengang und dem Intermetatarsalen Index oder der klinischen Dokumentation einer Instabilität konnte ebenfalls nicht gezeigt werden. Fraglich ist, welcher der Parameter sich im

klinischen Alltag am besten zur Diagnostik des Hallux valgus eignet, insbesondere was Verlässlichkeit und Reproduzierbarkeit der Parameter angeht. So beschäftigten sich Bock et al. und Sanhudo et al. mit der Intra- und Interobserver-Verlässlichkeit verschiedener Kenngrößen (Bock et al., 2018; Sanhudo et al., 2012). Letztere untersuchten die Reproduzierbarkeit von HV-Winkel, IM-Winkel und der Messung der Distanz von lateraler Kortikalis des lateralen Sesambeines zu lateraler Kortikalis des ersten Os metatarsale. Verglichen wurde, inwieweit die gemessenen Werte der einzelnen Untersucher an verschiedenen Messzeitpunkten und untereinander variierten, wobei vier unterschiedliche Untersucher mit aufsteigender klinischer Erfahrung die Messungen durchführten. Es wurde, bei mit 2° Unterschied als signifikant definierten Messungen, eine geringe Reproduzierbarkeit bei der Bestimmung von HV- und IM-Winkel detektiert. Für oben beschriebene Distanzmessung wurde ein Unterschied von 2 mm als signifikant definiert. Da für diesen Parameter eine bessere Reproduzierbarkeit herausgefunden wurde, empfiehlt die Studie von 2012 die Ermittlung von Winkeln zugunsten von Abständen/Strecken zu verlassen (Sanhudo et al., 2012). Der Intermetatarsale Index ist jedoch der einzige streckenbasierte Messwert und zeigt eine direkte Korrelation zu den bislang vornehmlich verwendeten Winkeln. Wenn die Erfassung von Strecken tatsächlich verlässlicher wäre als die von Winkeln, könnte sich der Intermetatarsale Index in der klinischen Routine somit als sehr gute Alternative erweisen. In der Intra- und Interobserver Reliabilität des Index zeigten sich zwar Unterschiede im ICC der einzelnen Untersucherinnen, jedoch wiesen die Konfidenzintervalle große Überschneidungen auf, weshalb von einer vergleichbaren Reliabilität ausgegangen werden kann. Es konnten also keine deutlichen Qualitätsunterschiede der Messungen in Abhängigkeit der Expertise der Untersucherinnen gezeigt werden. Es konnte außerdem nicht gezeigt werden, dass die Reliabilität des Intermetatarsalen Index besser oder wesentlich schlechter wäre als die der Winkel-basierten Parameter.

Die genannte Studie von Sanhudo, welche die Verwendung von Strecken nahelegt, könnte ebenfalls Limitationen aufweisen. In der genannten Arbeit wurden der HV- und der IM-1/2-Winkel gemessen und Abweichungen unterschiedlicher Untersucher von 2° als signifikant definiert (Sanhudo et al., 2012). Als streckenbasierter Parameter diene der Abstand der lateralen Kortikalis des lateralen Sesambeines zur lateralen Kortikalis des ersten Os metatarsale. Hier

wurden Interobserver-Unterschiede von 2 mm als signifikant definiert. In beschriebener Studie wurde jedoch keine Erklärung für die Wahl gegeben, warum jeweils Unterschiede ab 2 mm bzw. 2° als signifikant definiert wurden. Nach Eindruck der beteiligten Untersucher sind Unterschiede in der Winkelmessung von 2° schneller erreicht als Unterschiede von 2mm bei der Messung von Abständen des recht kleinen Sesambeines. Dies könnte eine mögliche Erklärung für die Ergebnisse der Arbeit von Sanudo et al. sein, wonach Abstandsmessungen verlässlicher seien als Winkelmessungen (Sanhudo et al., 2012).

Die Stellung des tibialen Sesambeines sowie dessen Rolle bezüglich postoperativer Rezidive ist ein weiteres in der Literatur viel diskutiertes Thema (Wülker, 2011). Einig ist man sich darüber, dass eine Korrelation zwischen der Stellung der Sesambeine und dem Schweregrad der Hallux-valgus-Fehlstellung besteht (Hardy & Clapham, 1951; Iliou et al., 2019), was auch in vorliegender Studie bestätigt werden konnte. Okuda et al. zeigten in ihrer Studie, dass eine inkomplette postoperative Korrektur der Sesambeine ein Risikofaktor für das Wiederauftreten eines HV ist, wobei die Grenze bei einer Sesambeinposition von ≥ 5 gezogen wurde. Sämtliche Patientinnen, die ein postoperatives Hallux-valgus-Rezidiv erlitten, wiesen präoperativ die Position sieben auf (Okuda et al., 2009). Auch in vorliegender Arbeit waren präoperativ nur die drei am weitesten lateral gelegenen Positionen zu finden. Durch die Operation zeigte sich in 141 Fällen keine Veränderung der Position, in fünf Fällen eine Veränderung der Sesambeine nach lateral und in 127 Fällen eine Korrektur der Sesambeine nach medial, jedoch waren auch postoperativ die meisten Sesambeinpositionen ≥ 5 , was laut Okuda et al. ein erhöhtes Risiko für ein Hallux-valgus-Rezidiv bedeuten würde.

Die Instabilität des Tarsometatarsale-1-Gelenkes ist ein rege diskutierter Sachverhalt der Hallux-valgus-Diagnostik. Zirngibl et al. vertreten die Ansicht, ein instabiles TMT-1-Gelenk wäre die Ursache der Fehlstellung (Zirngibl et al., 2017), wohingegen Mansur und de Souza Nery die Instabilität eher als Folge eines länger bestehenden Hallux valgus sehen (Mansur & de Souza Nery, 2020). Einen Zusammenhang zwischen Schweregrad des Hallux valgus und Instabilität im TMT-1-Gelenk zeigten Manceron et al. (Manceron et al., 2022). Busch et al. sowie

Plaaß et al. sehen in der TMT-1-Instabilität eine Indikation für die TMT-1-Arthrodese ((Busch et al., 2020; Plaaß et al., 2017; Waizy & Fachgesellschaft, 2014), Plaaß et al. mit der Einschränkung, dass diese Arthrodese beim juvenilen HV aufgrund offener Epiphysenfugen kontraindiziert sei. King et al. sehen in der TMT-1-Instabilität einen Risikofaktor für das Wiederauftreten des Hallux valgus nach operativer Versorgung (King & Toolan, 2004). Auch bezüglich radiologischer Parameter, die die Hypermobilität im ersten Strahl erfassen können, finden sich in der Literatur verschiedene Ansichten. King und Toolan sowie Zirngibl et al. postulieren ein plantares Klaffen des TMT-1 im lateralen Röntgenbild (King & Toolan, 2004; Zirngibl et al., 2017), Coughlin und Jones konnten diesen Zusammenhang jedoch nicht zeigen (Coughlin & Jones, 2007). Auch in vorliegender Arbeit konnte das plantare Klaffen als radiologischer Parameter für die Instabilität im TMT-1-Gelenk nicht rekonstruiert werden. Zirngibl et al. definieren eine plantare Gelenkspaltaufweitung zwischen Os metatarsale und Os cuneiforme von mehr als 2 mm als plantares Klaffen (Zirngibl et al., 2017), in vorliegender Arbeit wurde das Vorhandensein des Klaffens subjektiv vom Untersucher bestimmt, da nicht von einheitlichen Maßstäben der Röntgenaufnahmen ausgegangen werden konnte.

Die Hallux-valgus-Fehlstellung wird je nach Quelle unterschiedlich in Kategorien eingeteilt. So findet sich in der deutschen Literatur vorwiegend die Einteilung der AWMF-Leitlinie (Waizy & Fachgesellschaft, 2014), während sich in der angloamerikanischen Literatur vor allem die Einteilung nach Ray et al. findet (Ray et al., 2019). Es zeigten sich mitunter jedoch deutliche Abweichungen innerhalb der einzelnen Gruppen:

Von den 276 am HV operierte Patientinnen fielen je nach Winkel 37 % bzw. 38 % nach der Einteilung der AWMF in keine der aufgeführten Kategorien, da ihr HV-Winkel und IM-1/2-Winkel kleiner waren als es für die Einteilung in „milde Deformität“ erforderlich gewesen wäre. Da die angloamerikanische Variante der Schweregrad-Einteilung schon bei weniger pathologischen Winkeln die Diagnose einer HV-Deformität stellt, lassen sich hier tatsächlich wesentlich mehr Patientinnen in den jeweiligen Gruppen zuordnen. Teilt man das vorliegende Patientinnenkollektiv nach dem HV-Winkel entsprechend der angloamerikanischen Kategorisierung ein, weisen tatsächlich statt 37 % nur noch 17,4 % einen

normalen entsprechenden Winkel auf. Statt zuvor 31,9% haben nun nur noch 15,9 % eine milde Fehlstellung, statt zuvor nur 22,5 % jedoch 58 % eine moderate Fehlstellung. Die Anzahl an Patientinnen mit schwerer Deformität ist mit 8,7 % identisch geblieben. Aus diesen Zahlen lässt sich schließen, dass im deutschsprachigen Raum laut Leitlinie die Diagnose Hallux valgus wesentlich zurückhaltender gestellt wird.

Durch die Erwähnung von zwei unterschiedlichen Messparametern in der Leitlinie (Waizy & Fachgesellschaft, 2014) werden einige Patientinnen gleichzeitig unterschiedlichen Schweregraden zugeordnet. Dies wird durch die Einteilung nach Ray et al. zwar auch nicht entscheidend verbessert, kann aber durch die Bestimmung der Summe des HV-Winkels und des IM-1/2-Winkels und eine entsprechende Einteilung gelöst werden. Dies würde die Genauigkeit und die Trennschärfe der Schweregradeinteilung der Hallux-valgus-Diagnostik verbessern und bietet sich daher als zukünftiger Standard an.

Offen bleibt jedoch trotzdem die Frage, wie die große Zahl an Patientinnen zu erklären ist, die rein nach radiologischen Parametern nicht an einem Hallux valgus litten und dennoch operiert wurden, da diese Zahl, trotz Reduktion um etwa die Hälfte nach der Kategorisierung von Ray et al., noch sehr hoch ist.

In dieser Arbeit wiesen mit fast 40 % einige der Patientinnen in den präoperativen radiologischen Parametern Werte auf, welche laut Leitlinie nicht für die Diagnose eines Hallux valgus ausreichen (s. Kapitel 3.12). Zwar liegt in etwa einem Drittel der eben genannten Fälle eine Arthrose im Sinne eines Hallux rigidus vor, was für diese Patientinnen die OP-Indikation begründet haben wird, jedoch fanden sich bei 66 der operierten Patientinnen ohne Hallux valgus kein Hallux rigidus, weshalb sich die Frage stellt, weshalb hier der Leidensdruck groß genug war, um sich einer Operation zu unterziehen und mit welchem Eingriff diese Gruppe vorwiegend operiert wurde. Von genannten Patientinnen, die präoperativ in die Kategorie „null“ fallen (beispielhaft am IM-1/2-Winkel), wurde jede vierte Patientin mit einer distalen Umstellung versorgt, also dem kleinstmöglichen Eingriff. Diejenigen, die in Kategorie „null“ fallen und zusätzlich einen Hallux rigidus aufwiesen, wurden bis auf wenige Ausnahmen mit der hier indizierten MTP-1-Arthrodesese versorgt. Vereinzelt fielen Patientinnen aus dieser Kategorie auf, bei denen eine Instabilität im TMT-1-Gelenk dokumentiert wurde und die mit einer TMT-1-Arthrodesese versorgt wurden.

Selbstverständlich könnten kosmetische Aspekte Grund für eine Operation gewesen sein, wobei Zirngibl et al. von kosmetischen Hallux-valgus-Eingriffen abraten (Zirngibl et al., 2017). Eine Korrelation dieser Patientinnen mit einem vorliegenden Hallux rigidus oder einem schlechteren postoperativen FADI-Score als Zeichen für eine Unzufriedenheit mit dem Ergebnis einer rein kosmetischen Operation zeigte sich in dem Patientinnenkollektiv nicht, was aber an der geringen Größe dieser Gruppe liegen kann. Jedoch scheinen kosmetische Gründe bei fehlenden radiologischen Fehlstellungen auch eher unwahrscheinlich, da keine Abweichung der physiologischen Achsen vorlag. Anhand der Daten konnte also nicht gezeigt werden, wieso sich die Gruppe der Patientinnen, die radiologisch keinen Hallux valgus aufwiesen, haben operieren lassen, wenn weder radiologische, noch kosmetische Gründe oder subjektive Beschwerden dafür sprachen. Diese Gruppe an Patientinnen sollte in Folgearbeiten weiter untersucht werden.

4.1 Limitationen

4.1.1 Postoperativer Intermetatarsaler Index

Abgesehen von der Sesambeinstellung, stellte der Intermetatarsale Index den einzigen Parameter dar, der sich aus der Bestimmung von Abständen, anstatt von Winkeln, herleitet. Dieser könnte sich jedoch nur bedingt zur Evaluation des Operationserfolges eignen. Wie unter Kapitel 2 beschrieben, wird zur Bestimmung dieser Kenngröße unter anderem eine Tangente an die mediale Kortikalis des ersten Os metatarsalis angelegt, genauer an die medialste Stelle des Metatarsalköpfchens. Genau dieser Knochenvorsprung ist jedoch maßgeblich verantwortlich für den Schuhkonflikt und somit für eines der größten Beschwerdebilder der Hallux-valgus-Patientinnen. Aus diesem Grund wird die sogenannte Pseudoexostose von vielen Operateurinnen im Rahmen der Korrektur abgetragen, was zu einer Verminderung der Vergleichbarkeit des prä- und postoperativen Intermetatarsalen Index führt. Allerdings verkleinert sich auch der entsprechende IM-Winkel postinterventionell. Inwieweit es hier zu möglichen Verzerrungen kommt, lässt sich anhand der hier erfassten Daten nicht sicher beantworten.

4.1.2 Auswahlbias des Patientinnenkollektivs und Drop-out-Rate

Es wurden aus den vorliegenden Daten die 276 Patientinnen analysiert, deren Füße radiologisch prä- und postoperativ untersucht wurden. Der postoperative FADI-Score lag jedoch nicht für alle diese Patientinnen vor, es findet sich eine hohe Rate an Studien-Drop-outs, das heißt, mit zunehmender Zeit standen immer weniger Patientinnen für die Erfassung des FADI-Scores zur Verfügung (s. Kapitel 3.7). So wurde der Score nach sechs Monaten nur noch von 226 Patientinnen erfasst, nach 12 Monaten nur noch von 176 und nach 24 Monaten sogar nur noch von 120. Da also nur noch weniger als die Hälfte der Patientinnen nach zwei Jahren postoperativ ausgewertet werden konnten, stellt sich die Frage nach der Aussagekraft der Ergebnisse des FADI-Scores. Es wäre beispielsweise möglich, dass sich etwa vor allem jene Patientinnen postoperativ zur Nachversorgung vorstellen, die besonders unzufrieden mit dem Operationsergebnis sind oder unter stärkeren Beschwerden leiden, während andere Patientinnen nicht mehr regelmäßig zur Nachkontrolle erschienen, weil sie möglicherweise beschwerdefrei waren. Sollte dies der Fall gewesen sein, wäre der prozentuale Anteil mit postoperativ steigendem FADI-Score noch größer. Auf der anderen Seite könnte

es sich auch um jene Patientinnen gehandelt haben, die eher zufrieden mit dem Ergebnis waren oder es könnten gar komplett andere und nicht berücksichtigte Einflussfaktoren hineingespielt haben, wie beispielsweise die Gewissenhaftigkeit der Patientinnen.

5 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, die Korrektur von Hallux-valgus-Fehlstellungen durch die verschiedenen Operationsverfahren nach radiologischen Kriterien zu evaluieren sowie festzustellen, ob das Ausmaß der radiologischen Korrektur mit der Zufriedenheit der Patientinnen korreliert. Darüber hinaus wurden neue, streckenbasierte Messparameter eingeführt und mit den winkelbasierten Verfahren verglichen.

Es konnte gezeigt werden, dass sich in dem vorliegenden Datensatz die radiologischen Messparameter Intermetatarsale-1/2-Winkel, Hallux-valgus-Winkel, der Intermetatarsale Index, der PASA und der TMT-1-Winkel durch die Operationen, unabhängig vom eingesetzten Verfahren, signifikant verbessert hatten. Die stärkste Verbesserung des HV- und des IM-1/2-Winkels wurde durch die TMT-1-Arthrodese allein oder in Kombination mit den distalen Umstellungen nach Akin und RGL erreicht. Eine Korrelation zwischen dem Grad der Zufriedenheit der operierten Personen und dem Ausmaß der durch den Eingriff erreichten Korrektur der radiologischen Parameter konnte jedoch nicht gezeigt werden. Es ließ sich keine Aussage darüber treffen, welches Operationsverfahren die Zufriedenheit der Patientinnen am stärksten beeinflusst. Das bedeutet, dass die radiologischen Messverfahren zwar ein hilfreiches Instrument für die Diagnosestellung darstellen, aber nur bedingt für die Auswahl der OP-Verfahren geeignet sind, da sie nicht mit den klinischen Ergebnissen korrelieren.

Zusätzlich wurde untersucht, ob die Inter- und Intraobserver-Reliabilität für streckenbasierte Parameter größer ist als für winkelbasierte Parameter. Dies konnte aber anhand vorliegender Daten nicht gezeigt werden. Auch eine höhere Reliabilität der Messungen mit steigender klinischer Expertise konnte durch wiederholte Messungen unterschiedlich erfahrener Untersucher nicht bewiesen werden.

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen und einer Einteilung des Patientinnenkollektivs anhand der Einteilung der Leitlinie fällt eine Diskrepanz der Schweregradeinteilung des Hallux valgus auf. Eine alternative Einteilung aus der Summe der zwei gängigsten Parameter HV- und IM-1/2-Winkel umgeht diese Diskrepanz und sollte zukünftig in Erwägung gezogen werden.

6 Literaturverzeichnis

- Akin, O. (1925). The treatment of hallux valgus: a new operative procedure and its results. *Med Sentinel*, 33, 678–679.
- Austin, D. W., & Leventen, E. O. (1981). A new osteotomy for Hallux Valgus: A horizontally directed “V” displacement osteotomy of the metatarsal head for Hallux Valgus and primus varus. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. <https://doi.org/10.1097/00003086-198106000-00007>
- Barg, A., Harmer, J. R., Presson, A. P., Zhang, C., Lackey, M., & Saltzman, C. L. (2018). Unfavorable outcomes following surgical treatment of hallux valgus deformity: A systematic literature review. *Journal of Bone and Joint Surgery - American Volume*, 100(18), 1563–1573. <https://doi.org/10.2106/JBJS.17.00975>
- Bock, P., Pittermann, M., Chraim, M., & Rois, S. (2018). The inter- and intraobserver reliability for the radiological parameters of flatfoot, before and after surgery. *Bone and Joint Journal*, 100B(5), 596–602. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.100B5.BJJ-2017-1279>
- Busch, A., Wegner, A., Haversath, M., Brandenburger, D., Jäger, M., & Beck, S. (2020). First ray alignment in Lapidus arthrodesis – Effect on plantar pressure distribution and the occurrence of metatarsalgia. *Foot*, 45(March), 101686. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2020.101686>
- Chen, J. Y., Rikhranj, K., Gatot, C., Lee, J. Y. Y., & Singh Rikhranj, I. (2016). Tibial Sesamoid Position Influence on Functional Outcome and Satisfaction after Hallux Valgus Surgery. *Foot and Ankle International*, 37(11), 1178–1182. <https://doi.org/10.1177/1071100716658456>
- Coughlin, M. J., & Jones, C. P. (2007). Hallux valgus: Demographics, etiology, and radiographic assessment. *Foot and Ankle International*, 28(7), 759–777. <https://doi.org/10.3113/FAI.2007.0759>
- Daniilidis, K., Durst, H., Graeff, U., Stukenborg-Colsman, C., Plaass, C., Lerch, M., Ettinger, S., Claassen, L., & Yao, D. (2019). The Arthrodesis Of The First MTP-I-Joint For The Treatment Of Hallux Rigidus. *Fuss Und Sprunggelenk*, 17(1), 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.fuspru.2019.02.006>
- Döring, K., & Puchner, S. (2020). MTP-I-Arthrodesis - Complications. *Fuss Und Sprunggelenk*, 43, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.fuspru.2020.08.003>
- Doty, J. F., & Coughlin, M. J. (2013). Hallux valgus and hypermobility of the first

- ray: Facts and fiction. *International Orthopaedics*, 37(9), 1655–1660. <https://doi.org/10.1007/s00264-013-1977-3>
- Ellington, J. K., Myerson, M. S., Coetzee, J. C., & Stone, R. M. (2011). The use of the lapidus procedure for recurrent hallux valgus. *Foot and Ankle International*, 32(7), 674–680. <https://doi.org/10.3113/FAI.2011.0674>
- Freibrodt, H. (2021). *Operative Versorgung von Hallux valgus Deformitäten Eine prospektive Multicenterstudie in Norddeutschland*.
- Galois, L., Hemmer, J., Ray, V., & Sirveaux, F. (2020). Surgical options for hallux rigidus: state of the art and review of the literature. In *European Journal of Orthopaedic Surgery and Traumatology*. <https://doi.org/10.1007/s00590-019-02528-x>
- Gibson, J. N. A., & Thomson, C. E. (2005). Arthrodesis or total replacement arthroplasty for hallux rigidus: A randomized controlled trial. *Foot and Ankle International*, 26(9), 680–690. <https://doi.org/10.1177/107110070502600904>
- Hale, S. A., & Hertel, J. (2005). Reliability and sensitivity of the foot and ankle disability index in subjects with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, 40(1), 35–40.
- Hamel, J., & Kinast, C. (2006). Der TMT-Index zur radiologischen Quantifizierung von Planovalgus-Deformitäten. *Fuss Und Sprunggelenk*, 4(4), 221–226. <https://doi.org/10.1007/s10302-006-0244-y>
- Hardy, R. H., & Clapham, J. C. R. (1951). OBSERVATIONS ON HALLUX VALGUS. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 33-B(3), 376–391. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.33b3.376>
- Harisboure, A., Joveniaux, P., Madi, K., & Dehoux, E. (2009). The Valenti technique in the treatment of hallux rigidus. *Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research*. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2009.02.004>
- Helmer, A. (2009). *Vergleich zweier Operationsmethoden beim Hallux valgus-proximale keilförmige Metatarsale 1 Osteotomie vs . Großzehengrundgelenkarthrodese*. Phillips- Universität Marburg.
- Iliou, K., Paraskevas, G. K., Kanavaros, P., Barbouti, A., Kitsouli, A., Gekas, C., & Kitsoulis, P. (2019). Correlation of the Hallux Sesamoids' Orientation with Various Anatomical Parameters in Patients with Hallux Valgus Deformity. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.4643>
- Kellgren, J. H., & Lawrence, J. S. (1956). *RADIOLOGICAL ASSESSMENT OF*

OSTEO-ARTHROSIS *Ann Rheum Dis* 1957. 3, 494–503.

- King, D. M., & Toolan, B. C. (2004). Associated deformities and hypermobility in hallux valgus: An investigation with weightbearing radiographs. *Foot and Ankle International*, 25(4), 251–255. <https://doi.org/10.1177/107110070402500410>
- Kitaoka, H. B., Alexander, I. J., Adelaar, R. S., Nuley, J. A., Myerson, M. S., & Sanders, M. (2014). Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Classic Papers in Orthopaedics*, 217–219. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5451-8_53
- Kumar, S., Pradhan, R., & Rosenfeld, P. F. (2010). First metatarsophalangeal arthrodesis using a dorsal plate and a compression screw. *Foot and Ankle International*, 31(9), 797–801. <https://doi.org/10.3113/FAI.2010.0797>
- Laird, P. O., Silvers, S. H., & Somdahl, J. (1988). Two Reverdin-Laird osteotomy modifications for correction of hallux abducto valgus. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. <https://doi.org/10.7547/87507315-78-8-403>
- Lapidus, P. W. (1934). The operative correction of metatarsus varus primus in hallux valgus. In *Surg Gynecol Obstet*.
- Lewis, T. L., Ray, R., & Gordon, D. J. (2022). The impact of hallux valgus on function and quality of life in females. *Foot and Ankle Surgery*, 28(4), 424–430. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2021.07.013>
- Manceron, A., Cazeau, C., Hardy, A., Piat, C., Bauer, T., & Stiglitz, Y. (2022). Correlation between first tarsometatarsal joint mobility and hallux valgus severity. *International Orthopaedics*, 46(4), 855–859. <https://doi.org/10.1007/s00264-021-05173-4>
- Mann, R. A., & Coughlin, M. J. (1981). Hallux Valgus - Etiology, anatomy, treatment and surgical considerations. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, No.157, 31–41. <https://doi.org/10.1097/00003086-198106000-00008>
- Mansur, N. S. B., & de Souza Nery, C. A. (2020). Hypermobility in Hallux Valgus. *Foot and Ankle Clinics*, 25(1), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2019.10.004>
- Martin, R., Burdett, R., & Irrgang, J. (1999). Development of the Foot and Ankle Disability Index (FADI). *J Orthop Sports Phys. Ther.*, 29, A32–A33.
- Matthews, M., Klein, E., Youssef, A., Weil, L., Sorensen, M., Weil, L. S., & Fleischer, A. (2018). Correlation of Radiographic Measurements With Patient-

- Centered Outcomes in Hallux Valgus Surgery. *Foot and Ankle International*, 39(12), 1416–1422. <https://doi.org/10.1177/1071100718790255>
- Meyr, A. J. (2022). Multivariate Analysis of Hallux Valgus Radiographic Parameters. *Journal of Foot and Ankle Surgery*, 61(4), 776–779. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2021.11.014>
- Montiel, V., Alfonso, M., Villas, C., & Valentí, A. (2019). Medial and lateral exostoses of the distal phalanx of the hallux: A potentially painful bunion-like structure. Part 1: Incidence and clinical application. *Foot and Ankle Surgery*, 25(2), 158–164. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2017.10.020>
- Munteanu, S. E., Menz, H. B., Wark, J. D., Christie, J. J., Scurrah, K. J., Bui, M., Erbas, B., Hopper, J. L., & Wluka, A. E. (2017). Hallux Valgus, By Nature or Nurture? A Twin Study. *Arthritis Care and Research*. <https://doi.org/10.1002/acr.23154>
- Nguyen, U. S. D. T., Hillstrom, H. J., Li, W., Dufour, A. B., Kiel, D. P., Procter-Gray, E., Gagnon, M. M., & Hannan, M. T. (2010). Factors associated with hallux valgus in a population-based study of older women and men: the MOBILIZE Boston Study. *Osteoarthritis and Cartilage*, 18(1), 41–46. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2009.07.008>
- Nilsson, H. (1930). Hallux rigidus and its treatment. *Acta Orthopaedica*, 1(1–4), 295–303. <https://doi.org/10.3109/17453673008991145>
- Nix, S., Smith, M., & Vicenzino, B. (2010). Prevalence of hallux valgus in the general population: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Foot and Ankle Research*, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-3-21>
- Nixon, D. C., McCormick, J. J., Johnson, J. E., & Klein, S. E. (2017). PROMIS Pain Interference and Physical Function Scores Correlate With the Foot and Ankle Ability Measure (FAAM) in Patients With Hallux Valgus. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 475(11), 2775–2780. <https://doi.org/10.1007/s11999-017-5476-5>
- Okuda, R., Kinoshita, M., Yasuda, T., Jotoku, T., Kitano, N., & Shima, H. (2009). Postoperative incomplete reduction of the sesamoids as a risk factor for recurrence of hallux valgus. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series A*, 91(7), 1637–1645. <https://doi.org/10.2106/JBJS.H.00796>
- Opsomer, G., Deleu, P. A., Bevernage, B. D., & Leemrijse, T. (2010). Cortical thickness of the second metatarsal after correction of hallux valgus. *Foot and*

- Ankle International*, 31(9), 770–776. <https://doi.org/10.3113/FAI.2010.0770>
- Perera, A. M., Mason, L., & Stephens, M. M. (2011). The pathogenesis of hallux valgus. In *Journal of Bone and Joint Surgery - Series A* (Vol. 93, Issue 17, pp. 1650–1661). Journal of Bone and Joint Surgery Inc. <https://doi.org/10.2106/JBJS.H.01630>
- Plaaß, C., Claaßen, L., Ettinger, S., Daniilidis, K., & Stukenborg-Colsman, C. (2017). Lapidus-Arthrodesis. *Orthopade*, 46(5), 424–433. <https://doi.org/10.1007/s00132-017-3411-9>
- Ray, J. J., Friedmann, A. J., Hanselman, A. E., Vaida, J., Dayton, P. D., Hatch, D. J., Smith, B., & Santrock, R. D. (2019). Hallux Valgus. *Foot & Ankle Orthopaedics*, 4(2), 1–12. <https://doi.org/10.1177/2473011419838500>
- Sánchez-Gómez, R., de Bengoa-Vallejo, R. B., Losa-Iglesias, M. E., Calvo-Lobo, C., Romero-Morales, C., Martínez-Jiménez, E. M., Palomo-López, P., & López-López, D. (2019). Heel height as an etiology of hallux abductus valgus development: An electromagnetic static and dynamic first metatarsophalangeal joint study. *Sensors (Switzerland)*, 19(6), 1–18. <https://doi.org/10.3390/s19061328>
- Sanhudo, J. V., Gomes, J. E., Rabello, M. C., & Delucca, G. (2012). Interobserver and Intraobserver Reproducibility of Hallux Valgus Angular Measurements and the Study of a Linear Measurement. *Foot and Ankle Specialist*, 5(6), 374–377. <https://doi.org/10.1177/1938640012457939>
- Scranton, P. E., & Mcdermott, J. E. (1995). Prognostic Factors in Bunion Surgery. *Foot & Ankle International*, 16(11), 698–704. <https://doi.org/10.1177/107110079501601105>
- Sheweidin Aziz, Annette Jones, M. B. (2021). A Qualitative Study of the Functional Outcomes Following First Metatarsophalangeal Joint (MTPJ) Arthrodesis Based on a Procedure Focused Questionnaire. *Journal of Foot and Ankle Surgery*, 61(6), 1182–1186. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2021.01.013>
- Shibuya, N., Roukis, T. S., & Jupiter, D. C. (2017). Mobility of the First Ray in Patients With or Without Hallux Valgus Deformity: Systematic Review and Meta-Analysis. In *Journal of Foot and Ankle Surgery*. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2017.05.021>
- Venning, P. (1951). Sources of error in the production and measurement of standard radiographs of the foot. *The British Journal of Radiology*, 24(277),

- 18–26. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-24-277-18>
- Waizy, H., & Fachgesellschaft, B. (2014). S1 Leitlinie “Hallux valgus.” *Awmf*, *15*(3), 1–29.
- Waldt, S. (2017). *Messverfahren und Klassifikationen in der muskuloskelettalen Radiologie* (pp. 59–65). Georg Thieme Verlag KG.
- Wülker, N. (2011). Fehlschläge in der Hallux-valgus-Chirurgie. *Orthopade*, *40*(5), 384–391. <https://doi.org/10.1007/s00132-010-1720-3>
- Wülker, N., & Mittag, F. (2012). The treatment of hallux valgus. *Deutsches Arzteblatt International*, *109*(49), 857–868. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2012.0857>
- Wülker, N., & Suckel, A. (2005). Osteotomien des Mittelfußes beim Hallux Valgus. *Orthopade*, *34*(8), 726–734. <https://doi.org/10.1007/s00132-005-0830-9>
- Zirngibl, B., Grifka, J., Baier, C., & Götz, J. (2017). Hallux valgus: Ätiologie, diagnostische und therapeutische Prinzipien. *Orthopade*, *46*(3), 283–296. <https://doi.org/10.1007/s00132-017-3397-3>

7 Anhänge

7.1 Verwendete Abkürzungen

AÄ3	Assistenzärztin im 3. Jahr
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.
BMI	Body Mass Index
d.p.	Dorsoplantar
DMAA	Distaler Gelenkflächenwinkel des Metatarsale I
FADI	Foot & Ankle Disability Index
FÄ1	Fachärztin im 1. Jahr
FOA	Funktionsoberarzt
HV	Hallux valgus
IBM	International Business Machines Corporation
ICC	Intraklassenkorrelationskoeffizienten
IM	Intermetatarsal
IQR	Interquartilsabstand
KI	Konfidenzintervall
Ligg.	Ligamenta
M	Mittelwert
MTP	Metatarsophalangeal
OP	Operation
PASA	Proximaler Gelenkflächenwinkel am Großzehengrundgelenk
RGL	Reverdin-Green-Laird
S	Medizinstudent
SD	Standardabweichung (standard deviation)
SPSS	Statistical Package für Social Sciences
Std.	Standard
TMT	Tarsometatarsale

7.2 Dokumentationsbogen für Diagnose Hallux valgus/rigidus

Dokumentationsbogen für Diagnose Hallux valgus/rigidus

Patienteninitialen

Name/Vorname: _____

Geburtsdatum: ___/___/___

Adresse: _____

Operateur: _____

OP-Datum: ___/___/___

Datum der Untersuchung: ___/___/___

operierter Fuß: links rechts

Diagnose: _____

Fußcharakteristik

Normal	
Fersenvalgus	
Fersenvarus	
Pes cavus	
Pes planus	
Hallux valgus	ja nein
Hallux rigidus	I II III IV
MTP-I-Gelenk	ROM > 40° ROM < 40°
IM-° Winkel	< 13° > 13°

flexibel		
rigide		
PASA-Winkel	<10°	>10°
Arthrose IP-Gel.	Ja	Nein
H.v. interphalangeus	Ja	Nein
Pes adductus im Rö	Ja	Nein

Instabilität **TMT-I-Gelenk**

Instabil	stabil
frontal	saggital

Beschwielung

Grundphalanx medial Rigidusschwiele) ja nein

I	II	III	IV	V
---	----	-----	----	---

OP-Verfahren

Komplexer Eingriff mit Versorgung der Kleinzehen

nein	II	III	IV	V
------	----	-----	----	---

Distale Umstellung	Austin	RGL (Reverdin-Green-Laird)	Akin
Schaftumstellung	Scarf	Andere:	
Proximale Umstellung	Open wedge	Closed wedge	Crescentic
TMT-I-Arthrodese	entknorpelt	reseziert	Basis Austin
MTP-I-Arthrodese	entknorpelt	reseziert	beides
Resezierende Verfahren	Cheilektomie	Valenti	Andere:

Osteosynthese

Schraube	1) einfach	2) gekreuzt	3) parallel	1	2	3		
Platte	1) winkelstabil	2) nicht winkelstabil	3) polyaxial winkelstabil	1	2	3		
Draht	1) K-Draht	2) Gewindedraht	3) Staple	1	2	3		
Plattenlage	1) medial	2) plantar	3) dorsomedial	4) dorsal	1	2	3	4

7.3 Bogen zur Erfassung des FADI-Scores

Klinischer Fragebogen X Monate nach der Operation

Hinweise:

Bitte in jeder Zeile die zutreffende Spalte ankreuzen.

Pro Zeile nur eine Spalte ankreuzen.

Einschränkungen	keine	leichte	mittlere	starke	unmöglich
1. Stehen					
2. Gehen auf ebenem Untergrund					
3. Barfuß Gehen auf ebenem Untergrund					
4. Bergauf Gehen					
5. Bergab Gehen					
6. Treppensteigen					
7. Treppab gehen					
8. Gehen auf unebenem Untergrund					
9. Bordstein hoch und runter					
10. In die Hocke gehen					
11. Schlafen					
12. Auf die Zehenspitzen stellen					
13. Loslaufen					
14. Gehdauer von bis zu 5 min.					
15. Gehdauer von ca. 10 min.					
16. Gehdauer über 15 min.					
17. Hausarbeit/ Verantwortlichkeiten zu Hause					
18. Alltagsaktivitäten					
19. Selbstversorgung (Kochen, Toilettengänge etc.)					
20. Leichte bis mittelschwere Arbeit (stehen, gehen)					
21. Schwere Arbeit (schieben/ ziehen, klettern, tragen)					
22. Freizeitaktivitäten					
Schmerz	kein	leicht	mittel	stark	unerträglich
23. Allgemeine Schmerzstärke					
24. Schmerz in Ruhe					
25. Schmerz bei gewohnter Aktivität					
26. Schmerzen am Morgen					

The Foot & Ankle Disability Index (FADI) Score

Total: _____

7.4 Prä- und postoperative Ergebnisse - tabellarisch

Table 13: Prä- und postoperative Ergebnisse des Intermetatarsale-1/2-Winkels in Grad

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert
prä-OP-IM-1/2	276	4,14°	23,05°	12,19°
post-OP-IM-1/2	276	1,33°	17,08°	7,39°
IM-1/2: Intermetatarsale-1/2-Winkel				

Table 14: Prä- und postoperative Ergebnisse des HV-Winkels in Grad

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert
prä-OP-HV-W	276	2,33°	54,34°	25,1°
post-OP-HV-W	276	1,03°	31,86°	15,09°
HV-W: Hallux-valgus-Winkel				

Table 15: Prä- und postoperative Ergebnisse des Intermetatarsalen Index

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert
Intermetatarsaler Index prä-OP	276	0,49	0,91	0,7
Intermetatarsaler Index post-OP	276	0,55	0,97	0,75

Table 16: prä- und postoperative Werte des PASA in Grad

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert
Prä-OP-PASA	274	-2,53	39,6	13,02
Post-OP-PASA	152	-9,45	23,2	4,51
PASA: Proximaler Gelenkflächenwinkel				

Table 17: Prä- und postoperative Werte des TMT-1-Winkels in Grad

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert
Prä-OP-TMT-1	275	-32,49	22,01	-6,73
Post-OP-TMT-1	274	-19,41	16,71	-1,23
TMT-1: Tarsometatarsale-1-Winkel				

Table 18: Prä- und postoperative Ergebnisse des FADI-Scores

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert
FADI 0	276	28	104	73,55
FADI 6	226	21	104	84,36
FADI 12	179	26	104	88,88
FADI 24	120	16	104	90,86
FADI: Foot & Ankle Disability Index 0, 6, 12, 24: Anzahl der Monate nach OP				

7.5 Tabelle Operationsverfahren

Tabelle 19: Auswirkung unterschiedlicher Operationsverfahren auf die verschiedenen Messparameter

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.-Abweichung
MTP-1-Arthrodesese					
ΔIM-Winkel	89	-4,09	9,17	2,51	2,88
ΔHV-Winkel	89	-12,81	36,81	7,93	10,26
ΔMetatarsalindex	89	-0,19	0,17	0,02	0,06
ΔFADI (0-6)	75	-37	61	12,03	20,45
ΔFADI (0-12)	63	-32	61	13,03	20,39
ΔFADI (0-24)	39	-28	60	18,08	18,7
Akin & TMT-1-Arthrodesese					
ΔIM-Winkel	42	-3,49	15,15	7,63	3,9
ΔHV-Winkel	42	-10,75	38	15,67	10,36
ΔMetatarsalindex	42	-0,32	0,08	-0,15	0,09
ΔFADI (0-6)	34	-34	40	12,91	18,25
ΔFADI (0-12)	29	-16	48	17,93	14,8
ΔFADI (0-24)	17	3	50	24,76	13,48
TMT-1-Arthrodesese					
ΔIM-Winkel	35	0,77	14,68	7,36	3,76
ΔHV-Winkel	35	-3,29	31,99	12,07	8,38
ΔMetatarsalindex	35	-0,32	0,06	-0,11	0,09
ΔFADI (0-6)	28	-53	46	3,29	23,66
ΔFADI (0-12)	23	-35	47	7,17	22,29
ΔFADI (0-24)	17	-36	43	7,94	21,5
Akin & MTP-1-Arthrodesese					
ΔIM-Winkel	33	-4,53	7,5	1,19	2,63
ΔHV-Winkel	33	-17,21	23,48	1,07	10,67
ΔMetatarsalindex	33	-0,06	0,18	0,05	0,07
ΔFADI (0-6)	26	-35	54	10,23	21,3
ΔFADI (0-12)	22	-25	52	12,64	19,78
ΔFADI (0-24)	16	-40	60	12,25	25,7
RGL, Akin & TMT-1-Arthrodesese					
ΔIM-Winkel	29	0,26	13,55	7,64	3,23
ΔHV-Winkel	29	-3,82	36,2	14,88	8,45
ΔMetatarsalindex	29	-0,3	0,07	-0,11	0,09
ΔFADI (0-6)	24	-55	46	6,54	24,52
ΔFADI (0-12)	15	-38	67	14	27,77
ΔFADI (0-24)	12	-24	37	7,08	19,94

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.-Abweichung
RGL & TMT-1-Arthroese					
ΔIM-Winkel	13	-0,83	10,8	7,09	3,61
ΔHV-Winkel	13	-4,64	21,54	12,16	6,94
ΔMetatarsalindex	13	-0,24	0	-0,11	0,08
ΔFADI (0-6)	11	-17	32	4	16,94
ΔFADI (0-12)	7	1	37	15,43	15,19
ΔFADI (0-24)	3	2	38	17,67	18,45
Austin & Akin					
ΔIM-Winkel	10	1,82	9,71	4,87	2,46
ΔHV-Winkel	10	1,58	17,91	10,11	5,3
ΔMetatarsalindex	10	-0,15	0,1	-0,04	0,07
ΔFADI (0-6)	9	3	42	19,78	14,22
ΔFADI (0-12)	7	5	53	21	18,64
ΔFADI (0-24)	5	-48	52	15,4	39,91
Δ: delta, Differenz IM: Intermetatarsale-1/2 HV: Hallux-valgus FADI: Foot & Ankle Disability Index Beschreibung der OP-Verfahren in Kapitel 3.5					

7.6 Tabelle der Intra- & Interobserver Reliabilität

Tabelle 20: Intra- & Interobserver Reliabilität, bestimmt über den ICC (Intraklassenkorrelationskoeffizienten) sowie die Angabe des Konfidenzintervalls

Intraobserver-Reliabilität	ICC	Konfidenzintervall (95%)
Student; präoperativ:		
• IM-Winkel	0,943	0,861-0,978
• HV-Winkel	0,979	0,941-0,992
• Intermetatarsaler Index	0,959	0,899-0,984
Student; postoperativ:		
• IM-Winkel	0,877	0,651-0,954
• HV-Winkel	0,848	0,654-0,938
• Intermetatarsaler Index	0,685	0,355-0,865
Funktionsoberarzt; präoperativ:		
• IM-Winkel	0,959	0,896-0,984
• HV-Winkel	0,966	0,915-0,986
• Intermetatarsaler Index	0,934	0,818-0,975
Funktionsoberarzt; postoperativ		
• IM-Winkel	0,702	0,384-0,873
• HV-Winkel	0,976	0,939-0,991
• Intermetatarsaler Index	0,985	0,962-0,994
Fachärztin; präoperativ:		
• IM-Winkel	0,906	0,739-0,965
• HV-Winkel	0,950	0,874-0,980
• Intermetatarsaler Index	0,307	-0,112-0,668
Fachärztin; postoperativ		
• IM-Winkel	0,489	0,044-0,768
• HV-Winkel	0,930	0,830-0,972
• Intermetatarsaler Index	0,366	-0,039-0,685
Assistenzärztin; präoperativ:		
• IM-Winkel	0,988	0,969-0,995
• HV-Winkel	0,994	0,985-0,998
• Intermetatarsaler Index	0,928	0,827-0,972
Assistenzärztin; postoperativ		
• IM-Winkel	0,913	0,790-0,965
• HV-Winkel	0,989	0,972-0,996
• Intermetatarsaler Index	0,897	0,753-0,959

Interobserver Reliabilität	ICC	Konfidenzintervall (95%)
IM-Winkel:		
• S zu FOA	0,960	0,899-0,984
• S zu FÄ1	0,828	0,481-0,938
• S zu AÄ3	0,962	0,836-0,988
• FOA zu FÄ1	0,882	0,674-0,956
• FOA zu AÄ3	0,977	0,942-0,956
• FÄ1 zu AÄ3	0,878	0,706-0,951
HV-Winkel:		
• S zu FOA	0,975	0,664-0,994
• S zu FÄ1	0,917	0,720-0,971
• S zu AÄ3	0,982	0,911-0,994
• FOA zu FÄ1	0,940	0,854-0,976
• FOA zu AÄ3	0,989	0,970-0,996
• FÄ1 zu AÄ3	0,928	0,825-0,971
Intermetatarsaler Index:		
• S zu FOA	0,876	0,595-0,957
• S zu FÄ1	0,873	0,665-0,951
• S zu AÄ3	0,879	0,707-0,952
• FOA zu FÄ1	0,872	0,699-0,949
• FOA zu AÄ3	0,886	0,733-0,954
• FÄ1 zu AÄ3	0,867	0,688-0,946
AÄ3=Assistenzärztin im 3. Jahr FÄ1=Fachärztin im 1. Jahr HV: Hallux-valgus ICC: Intraklassenkorrelationskoeffizienten IM: Intermetatarsale-1/2 S: Student		

7.7 Korrelationsmatrix

Korrelationen

		prä-IM 1/2	prä-HV	(DMAA) /Beurteilung der Kongruenz des Großzehengru ndgelenks	prä TMT1	Kortikalisquoti ent MT2	Metatarsalind ex Krieger/Russli es	PASA
prä-IM 1/2	Pearson-Korrelation	1	,680**	,581**	-,112	,016	-,709**	,535**
	Sig. (2-seitig)		<,001	<,001	,063	,789	<,001	<,001
	N	276	276	274	275	276	276	274
prä-HV	Pearson-Korrelation	,680**	1	,780**	-,155*	,065	-,520**	,767**
	Sig. (2-seitig)	<,001		<,001	,010	,284	<,001	<,001
	N	276	276	274	275	276	276	274
(DMAA)/Beurteilung der Kongruenz des Großzehengrundgelenks	Pearson-Korrelation	,581**	,780**	1	-,131*	,028	-,571**	,856**
	Sig. (2-seitig)	<,001	<,001		,031	,650	<,001	<,001
	N	274	274	274	273	274	274	274
prä TMT1	Pearson-Korrelation	-,112	-,155*	-,131*	1	-,100	,127*	-,128*
	Sig. (2-seitig)	,063	,010	,031		,097	,035	,035
	N	275	275	273	275	275	275	273
Kortikalisquotient MT2	Pearson-Korrelation	,016	,065	,028	-,100	1	-,069	,012
	Sig. (2-seitig)	,789	,284	,650	,097		,252	,842
	N	276	276	274	275	276	276	274
Metatarsalindex Krieger/Russlies	Pearson-Korrelation	-,709**	-,520**	-,571**	,127*	-,069	1	-,498**
	Sig. (2-seitig)	<,001	<,001	<,001	,035	,252		<,001
	N	276	276	274	275	276	276	274
PASA	Pearson-Korrelation	,535**	,767**	,856**	-,128*	,012	-,498**	1
	Sig. (2-seitig)	<,001	<,001	<,001	,035	,842	<,001	
	N	274	274	274	273	274	274	274

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

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

Korrelationen

		post-IM1/2	post-HV	post TMT1	post-PASA	post-Metatarsalind ex
post-IM1/2	Pearson-Korrelation	1	,389**	-,213**	,061	-,690**
	Sig. (2-seitig)		<,001	<,001	,459	<,001
	N	276	276	274	152	276
post-HV	Pearson-Korrelation	,389**	1	-,085	,465**	-,270**
	Sig. (2-seitig)	<,001		,159	<,001	<,001
	N	276	276	274	152	276
post TMT1	Pearson-Korrelation	-,213**	-,085	1	-,096	,239**
	Sig. (2-seitig)	<,001	,159		,243	<,001
	N	274	274	274	151	274
post-PASA	Pearson-Korrelation	,061	,465**	-,096	1	-,135
	Sig. (2-seitig)	,459	<,001	,243		,098
	N	152	152	151	152	152
post-Metatarsalindex	Pearson-Korrelation	-,690**	-,270**	,239**	-,135	1
	Sig. (2-seitig)	<,001	<,001	<,001	,098	
	N	276	276	274	152	276

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

8 Danksagungen

Herrn Prof. Dr. med. Martin Russlies danke ich für die Überlassung des Themas, sowie für die Betreuung.

Herrn Dr. med. Dominik Vogt danke ich für die Betreuung über die gesamte Arbeit.

Herrn Dr. med. Gerd-Dieter v. Koschitzky danke ich für die Möglichkeit einer Famulatur in seiner Praxis sowie für die Einarbeitung in die Thematik der Fußchirurgie.

Herrn Dr. med. Henrik Krieger und seinen Mitarbeitenden danke ich für die Bereitstellung eines Großteils der Daten und Röntgenbilder dieser Arbeit.

Es wurde am Institut für Medizinische Biometrie und Statistik eine biometrische Beratung im Umfang von ca. 2 Stunden in Anspruch genommen. Dafür möchte ich dem Institut und insbesondere Frau Hanna Brudermann danken.

Meinen Eltern Sven und Petra sowie meinen Geschwistern Jonas und Annika möchte ich besonders danken für all die Unterstützung, Ermutigung und den Rückhalt, den sie mir über das gesamte Studium und darüber hinaus gaben.

Auch meiner Freundin Leonie möchte ich für all ihre Unterstützung und Motivation in den letzten Jahren danken.

9 Publikation

Springer-Verlag:

Orthopädie & Rheuma 2020; 23(4)

Hallux valgus bei Erwachsenen – Spielraum in der Therapie

Malte Böse, Martin Russlies, Andreas Paech, Dominik Maximilian Vogt

Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, UKSH – Campus Lübeck