

Aus der Klinik und Poliklinik
für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie
der Universitätsmedizin Rostock
Prof. Dr. med. Thomas Mittlmeier

Verfahrensvergleich in der operativen Therapie der
Kleinzehendeformitäten: minimal-invasiv versus offen-chirurgisch

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Universitätsmedizin Rostock

von

Benjamin Weigang
geboren am 19.07.1985 in Greifswald
aus Waren (Müritz)



Datum der Einreichung: 17.09.2024

Datum der Verteidigung: 01.04.2025

Dekan: Prof. Dr. med. Bernd J. Krause

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr. med. Thomas Mittlmeier

(Universitätsmedizin Rostock, Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand-
und Wiederherstellungschirurgie)

2. Gutachter: Prof. Dr. med. Martin Ellenrieder

(Universitätsmedizin Rostock, Orthopädische Klinik und Poliklinik)

3. Gutachter: Prof. Dr. med. M. Jordan

(Universitätsmedizin Greifswald -KöR-, Klinik für Orthopädie,
Unfallchirurgie und Rehabilitative Medizin)

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG.....	5
1.1 ALLGEMEINE GRUNDLAGEN	5
1.1.1 ANATOMIE DES FUßES UND DER KLEINZEHEN.....	7
1.1.2 PHYSIOLOGIE DES FUßES UND DER KLEINZEHEN.....	11
1.2 PATHOLOGIEN UND DEFORMITÄTEN DER KLEINZEHEN	13
1.2.1 HAMMERZEHENDEFORMITÄTEN (HAMMER TOES).....	15
1.2.2 KRALLENZEHEN- UND KLAUENZEHENDEFORMITÄTEN (CLAW TOES).....	16
1.2.3 DIGITUS SUPERDUCTUS (CROSSOVER TOES)	17
1.2.4 HÄMMERCHENZEHENDEFORMITÄTEN (MALLET TOES).....	17
1.2.5 CURLY TOES (LOCKENZEHEN ODER AUCH KAMPTODAKTYLIE).....	18
1.2.6 DIGITUS QUINTUS VARUS	18
1.3 UNTERSUCHUNG.....	19
1.4 KONSERVATIVE BEHANDLUNG	20
1.5 OPERATIVE BEHANDLUNG	21
1.5.1 OFFEN-CHIRURGISCHE THERAPIE.....	22
1.5.2 MINIMAL-INVASIVE KLEINZEHENCHIRURGIE.....	28
1.6 INDIKATIONEN/KONTRAINDIKATIONEN IN DER KLEINZEHENCHIRURGIE	32
1.7 KOMPLIKATIONEN IN DER KLEINZEHENCHIRURGIE.....	33
1.8 BEURTEILUNG DER PRÄ- UND POSTOPERATIVEN FUßFUNKTION	36
2. FRAGESTELLUNG / ZIEL DER STUDIE	37
3. METHODEN.....	38
3.1 STUDIENDESIGN.....	38
3.2 PRIMÄRES STUDIENZIEL	40
3.3 SEKUNDÄRE STUDIENZIELE	40
3.4 EINSCHLUSSKRITERIEN.....	40
3.5 AUSSCHLUSSKRITERIEN	40
3.6 STATISTISCHE AUSWERTUNG.....	41
4. ERGEBNISSE	42
4.1 PATIENTENCHARAKTERISTIKA	42
4.2 VERFAHRENSSICHERHEIT	45
4.3 PATIENTENZUFRIEDENHEIT	48
4.3.1 STATIONÄRE ERFASSUNG DER SUBJEKTIVEN ZUFRIEDENHEIT DER PATIENTEN	48
4.3.2 ERFASSUNG DER SUBJEKTIVEN ZUFRIEDENHEIT DER PATIENTEN IM LANGZEITINTERVALL.....	49
4.4 FUNKTIONELLE ERGEBNISSE.....	50
4.4.1 SCHMERZHAFTE TAGE INNERHALB DER LETZTEN WOCHE VOR UNTERSUCHUNG	50
4.4.2 FUß-FUNKTIONS-INDEX DEUTSCHLAND	51
4.5 KLINISCHE ERGEBNISSE UND STELLUNG DER KLEINZEHEN	55
4.6 RADIOLOGISCHE ERGEBNISSE.....	56
4.6.1 STATIONÄRE POSTOPERATIVE RÖNTGENVERLAUFSKONTROLLE.....	56
4.6.2 LANGZEITRÖNTGENVERLAUFSKONTROLLE	57
4.7 KOHORTENERGEBNISSE DER ISOLIERTEN KLEINZEHENEINGRIFFE (N = 20)	58
4.7.1 PATIENTENCHARAKTERISTIKA (N = 20).....	58
4.7.2 VERFAHRENSSICHERHEIT (N = 20).....	59

4.7.3	PATIENTENZUFRIEDENHEIT (N = 20).....	61
4.7.4	FUNKTIONELLE ERGEBNISSE (N = 20).....	61
4.7.5	KLINISCHE ERGEBNISSE (N = 20)	62
4.7.6	RADIOLOGISCHE ERGEBNISSE (N = 20)	63
4.7.7	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE SOLITÄRE KLEINZEHENCHIRURGIE (N = 20).....	64
4.8	ZUSAMMENFASSUNG DER GESAMTEN ERGEBNISSE	64
5.	<u>DISKUSSION.....</u>	66
5.1	KRITISCHE BETRACHTUNG DER VERWENDETEN METHODEN	66
5.2	DISKUSSION DER ERHOBENEN DATEN.....	67
5.2.1	BASISCHARAKTERISTIKA	68
5.2.2	VERFAHRENSSICHERHEIT	72
5.2.3	PATIENTENZUFRIEDENHEIT	76
5.2.4	FUNKTIONELLE ERGEBNISSE.....	77
5.2.5	KLINISCHE ERGEBNISSE.....	80
5.2.6	RADIOLOGISCHE AUSWERTUNG.....	83
6.	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	89
7.	<u>TABELLENVERZEICHNIS</u>	90
8.	<u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</u>	91
9.	<u>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....</u>	92
10.	<u>DANKSAGUNG.....</u>	93
11.	<u>LEBENS LAUF</u>	94
12.	<u>SCHRIFTLICHE ERKLÄRUNG</u>	96
13.	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	97
14.	<u>ANHANG</u>	103

1. EINLEITUNG

1.1 Allgemeine Grundlagen

Die operative Therapie stellt im Bereich der symptomatischen Fuß- und Sprunggelenkspathologien ein seit Jahrzehnten bewährtes und vielgestaltiges Behandlungskonzept dar. Es gewinnt an Bedeutung, sobald die konservativen Maßnahmen einschließlich Hilfsmittelversorgung, Physiotherapie, physikalischen Anwendungen und bedingt invasiven Methoden, wie beispielsweise Lokalinfiltrationen, an ihre Grenzen stoßen.

Bei bestimmten Krankheitsbildern, wie Gelenkverschleiß oder fortgeschrittenen Fehlstellungen, stellt die fachgerechte Operation gegebenenfalls gar die einzig erfolgversprechende Behandlungsoption dar und muss mitunter als dringlich indiziert werden.

Dabei ist die Genese der Pathologien im Bereich der Fußchirurgie ebenso divers, wie die klinischen und radiologischen Ausprägungen der jeweiligen Erkrankung und auch ihrer daraus folgenden operativ-technischen Behandlungsansätze. Statistische Daten sind kaum zu erlangen, aber es ist bekannt, dass Kleinzehendeformitäten mit dem Alter zunehmend auftreten [1] und gehäuft bei Adipositas verzeichnet werden. Saro et al. konnten in einer populations- und registerbasierten Studie in Schweden feststellen, dass Vorfußdeformitäten, angeführt vom Hallux valgus, mit einer kumulierten Inzidenz von 0,8 Prozeduren auf 1000 Einwohner pro Jahr verhältnismäßig häufig operativ versorgt werden müssen. Ein Altersgipfel wurde in der 5. Lebensdekade ausgewiesen [2].

Neben habituellen Ursachen, wie z. B. dem unphysiologischen Zehenspitzenengang [3], mechanisch beeinträchtigendem Schuhwerk oder generellem Bewegungsmangel, spielen unter anderem posttraumatische, metabolische, mikrovaskuläre, autoimmunbedingte, zerebrale, neurodegenerative und neuromuskuläre aber auch genetisch bedingte bzw. prädisponierende Ursachen eine entscheidende Rolle in der Entstehung der Fußpathologien [4], [5].

Neben balancierenden Operationstechniken mit knöchernen Resektionen und Sehnenpositionen sowie achskorrigierenden Verfahren mit knöchernen Verschiebeplastiken und Keilosteotomien, stehen stabilisierende Eingriffe, z. B. in Form von Arthrodesen in der Fuß- und Sprunggelenkchirurgie, zur Verfügung. Einige

Fallkonstellationen, wie komplexe rheumatisch bedingte Fußpathologien, bedürfen unter Umständen radikalerer Ansätze. Hier kommen vermehrt auch Resektionsarthroplastiken zum Einsatz.

Nicht zu vergessen sind die Grundprinzipien der septischen Chirurgie, die u. a. bei Ulzera durch ein diabetisches Fuß-Syndrom Abhilfe schaffen können. Allen gemein ist nicht die Anwendung eines einzelnen Prinzips, sondern die Kombination der zur Verfügung stehenden Maßnahmen zur optimalen und individualisierten Behandlung des vorliegenden Krankheitsbildes.

Dabei ist es im Rahmen der elektiven Fußchirurgie ein übergeordnetes Ziel, möglichst die physiologische Stellung und funktionelle Biomechanik des Fußes wiederherzustellen, da die Erhaltung der Gehfähigkeit ein zentrales Element der Selbstbestimmung und Lebensführung ist.

In diesem Zuge haben sich in der Vergangenheit unzählige offen-chirurgische Operationsmethoden etablieren können. Aber auch minimal-invasive Techniken haben in Zeiten des medizinisch-technischen Fortschritts und wachsenden Anspruchs seitens der Patienten Einzug in die Operationssäle der fußchirurgischen Spezialisten gefunden.

Ob diese modernen Methoden im Bereich der Kleinzehenchirurgie in Sachen Verfahrenssicherheit, Patientenzufriedenheit, objektiv-funktionalen und radiologischen Ergebnissen mit der gesetzten offenen-chirurgischen Behandlung konkurrieren können, soll in dieser klinischen Studie festgestellt werden.

1.1.1 Anatomie des Fußes und der Kleinzehe

Das knöcherner Fußskelett weist 26 Knochen auf, wobei allein 12 Knochen auf die Phalangen der Kleinzehe entfallen. Es ist jeweils ein Grundglied, ein Mittelglied und ein Endglied vorhanden, im Gegensatz zur Großzehe, welche nur durch ein Grundglied und ein Endglied aufgebaut ist. Die Glieder sämtlicher Zehenstrahlen stehen physiologisch in paralleler Anordnung, da die Opponierbarkeit der Großzehe und die Greiffunktion des Fußes in der Entwicklungsgeschichte des Menschen mit dem Verlassen der Bäume und der Entstehung des zweibeinigen Ganges an Bedeutung verlor [6]. Die jeweiligen Mittelfußknochen sowie die o. g. Phalangen sind dann je Strahl in Reihe angeordnet, wobei die einzelnen Gelenke von einer Gelenkkapsel umgeben sind und medial als auch lateral von Kollateralbändern verstärkt werden. Von proximal nach distal spricht man vom Metatarsophalangealgelenk (MTP) oder auch Grundgelenk zwischen Mittelfußknochen und Grundphalanx, dem proximalen Interphalangealgelenk (PIP) zwischen Grund- und Mittelglied sowie distalem Interphalangealgelenk (DIP) zwischen Mittel- und Endphalanx [7].

Jeder Strahl besitzt einen komplexen Streckapparat. Dieser besteht aus dem M. extensor digitorum longus (EDL), welcher seinen flächigen Ursprung vom lateralen Schienbein über die Membrana interossea bis hin zum Wadenbein hat und dann unterhalb der Strecksehnenretinakula die Sprunggelenksregion lateralseitig passiert und sich anschließend in die vier langen Strecksehnen der Kleinzehe vereinzelt. Diese passieren dann dorsalseitig zentral die Metatarsophalangealgelenke (MTP), wo sie Teil der Extensorenhaube bzw. -schlinge werden und sich an der sogenannten Extensorentrifurkation in einen zentralen Zügel und zwei laterale Zügel aufspalten. Der zentrale Zügel setzt an der dorsalen Facette des Mittelgliedes an, die lateralen Zügel vereinigen sich im Verlauf wieder, um an der Dorsalseite des Endgliedes ihren Ansatz zu finden. Die Innervation erfolgt über den N. fibularis profundus aus den Segmenten L5 und S1.

Begleitet wird der EDL, meist mit Ausnahme der 5. Zehe, durch den M. extensor digitorum brevis (EDB), welcher seinen Ursprung am lateralen Rückfuß im Bereich des anterolateralen Kalkaneus sowie des Retinakulum musculorum extensorum inferius hat. Er verläuft dann in Form von drei, sehr selten vier, Muskelbäuchen von lateral her schließlich tendinös ebenfalls zu den Grundgelenken der Zehen II bis IV/V und strahlt dann in die Dorsalaponeurosen der jeweiligen Zehen ein. Die Innervation erfolgt

ebenfalls über den N. fibularis profundus aus den Segmenten L5 und S1. Die bindegewebige Extensorenhaube umschließt zudem das einzelne MTP-Gelenk und kommuniziert mit der jeweiligen plantaren Platte der Zehenstrahlen. An diese schließt plantarseitig jeweils ein Fettpolster zur Druckentlastung der Mittelfußköpfchen an.

Neben dem Streckapparat besitzt jede Kleinzehe auch einen Beugeapparat bestehend aus dem M. flexor digitorum longus (FDL) und dem M. flexor digitorum brevis (FDB). Der FDL kommt von der Hinterseite der Tibia, bildet dann eine Sehne, welche den Tarsaltunnel passiert und spaltet sich schließlich in die vier langen Beugesehen der Kleinzehen auf, welche ihren Ansatz an der jeweiligen plantaren Basis der Endphalanx finden. Die Innervation erfolgt durch den N. tibialis aus den Segmenten S1 und S2.

Der FDB hat seinen Ursprung am Processus medialis des Kalkaneus sowie partiell an der Plantarfaszie und verläuft dann plantar des FDL. Es bilden sich vier Einzelsehnen, welche die Grundgelenke passieren, sich dann im Bereich der Grundglieder in jeweils zwei Zügel aufspalten und schließlich plantarseitig an den Mittelgliedern ansetzen. Sie formen dort so einen Durchtritt für die Sehnen der langen Kleinzehebeuger. Die Innervation des EDB erfolgt aus dem N. plantaris medialis aus den Segmenten S1 und S2.

Unterstützt werden die Flexoren durch den M. quadratus plantae, welcher am Kalkaneus entspringt und in zwei Anteilen nach distal verläuft, um dort an den Sehnen des M. flexor digitorum longus anzusetzen. Hier erfolgt über den N. plantaris lateralis die Flexion der Kleinzehen in unterstützender Weise.

Zusätzlich verfügt der Fuß in Form der Plantarfaszie über eine aponeurotische, flächig-sehnige Bindegewebsstruktur vom Fersenbein plantarseitig bis schließlich zu den Grundglieder der Zehen ziehend, welche das Längsgewölbe des Fußes aufspannt und über den umgekehrten Windlass-Mechanismus zur Beugung der Kleinzehen beiträgt. Auf diesen Mechanismus wird im Folgeabschnitt detaillierter eingegangen.

Diejenige Muskulatur, welche ihren Ursprung außerhalb des Fußskeletts hat, bezeichnet man auch als extrinsische Fußmuskulatur, zu welcher neben dem EDL und dem FDL unter anderem auch der M. tibialis anterior, der M. tibialis posterior oder die Peronealmuskulatur gehört. Diese kann beispielsweise im Rahmen einer posttraumatischen oder neuromotorischen Ausfallsymptomatik, wie bspw. einer Fußheberschwäche Bedeutung für die Kleinzehen erlangen, da es dann über eine vermehrte Rekrutierung der Kleinzehenextensoren zu einer Dysbalance zwischen

Beuge- und Streckapparat und somit zu einer Kleinzehefehlstellung kommen kann [8].

Die sogenannte intrinsische Fußmuskulatur umfasst aber neben EDB und FDB ebenfalls weitere kleine Muskelgruppen, welche die Beweglichkeit der Kleinzehe mitregulieren.

Hier sind unter anderem die *Mm. interossei dorsales* und *plantares pedis* zu nennen. Die plantare Gruppe aus drei kleinen Muskeln entspringt an der Basis medialseitig der *Ossa metatarsalia* III bis V, passiert die Grundgelenke dorsalseitig der tiefen intermetatarsalen, transversen Ligamente und setzt an den Grundgliedern III bis V ebenfalls medialseitig sowie an den Streckaponeurosen an. Die Innervation erfolgt über den *N. plantaris lateralis* aus den Segmenten S1 und S2.

Die dorsale Gruppe besteht aus vier zweiköpfigen Muskelbäuchen, welche jeweils an der lateralen Seite des medial gelegenen Mittelfußknochens und medial des entsprechend lateral gelegenen Mittelfußknochens ihren Ursprung haben. Der Ansatz befindet sich für den ersten Muskelbauch medial am Grundglied des 2. Zehs und für den zweiten Muskelbauch lateral am Grundglied des Grundgliedes II. Der dritte und vierte Muskelbauch hat seinen Ansatz dann jeweils lateralseitig an den entsprechenden Grundgliedern III und IV. Die Innervation erfolgt ebenfalls über den *N. plantaris lateralis* aus den Segmenten S1 und S2.

Die *Mm. lumbricales pedis* hingegen haben ihren Ursprung an den langen Beugeschnehen der Kleinzehe, passieren dann medialseitig unterhalb der tiefen intermetatarsalen, transversen Ligamente die Grundgelenke und setzen medial an den Streckaponeurosen der Grundglieder der Kleinzehe II bis V an. Die Innervation der zwei medialen Muskeln erfolgt durch den *N. plantaris medialis* und die Ansteuerung der beiden lateralen Muskeln erfolgt über den *N. plantaris lateralis* jedoch insgesamt aus den Segmenten S1 und S2.

Im Bereich der 5. Zehe verfügt der Mensch zusätzlich über den *M. abductor digiti minimi*, welcher am lateralen *Tuber calcanei* seinen Ursprung hat und bis zur lateralen Grundphalanx der 5. Zehe verläuft. Innerviert über den *N. plantaris lateralis* ist er für eine Abduktion und Flexion der 5. Zehe im Grundgelenk verantwortlich.

Lateral davon gelegen verfügen wir über den *M. opponens digiti minimi* und den *M. flexor digiti minimi brevis*, welche beide von der plantaren Basis des

Os metatarsale V bzw. dem Ligamentum plantare longum entspringen. Erstgenannter setzt am distalen, lateralen Rand des 5. Mittelfußknochens an und soll eine Opposition bzw. leichte Rotation des 5. Mittelfußknochens bewirken können. Zweiterer setzt an der Basis des Grundgliedes der 5. Zehe an und agiert über den N. plantaris lateralis als Flexor und Abduktor der 5. Zehe im Grundgelenk [9].

Die grundlegende arterielle Versorgung des Fußes erfolgt zum kleineren Teil aus der A. dorsalis pedis als Fortsetzung der A. tibialis anterior aus der A. poplitea und zum größeren Teil aus den Aa. plantares aus der A. tibialis posterior ebenfalls als direkte Fortsetzung der A. poplitea aus der A. femoralis. Die A. dorsalis pedis versorgt über die abgehenden Gefäße der A. tarsalis, der A. arcuata und den Aa. metatarsales dorsales die Mittelfußknochen, den kurzen Zehenstrecker und die Innenseite des Fußes. Die Aa. metatarsales dorsales versorgen über die Aa. digitales dorsales zudem die Kleinzehen. Aus dem Ramus plantaris der A. dorsalis pedis und deren Zuflüssen aus der A. plantaris medialis und lateralis ergibt sich der sog. Arcus plantaris profundus, welcher nach proximal Strukturen des gesamten Rückfußes versorgt und nach distal die vier Aa. metatarsales plantares abgibt, welche die gesamte Planta pedis und über die Aa. digitales plantares communes bzw. den schließlich paarig auftretenden Aa. digitales plantares propriae auch die Kleinzehen perfundieren [10]. Die Gefäßversorgung des Fußes unterliegt jedoch einer großen Varianz, so dass es zu diversen dominanten Versorgungstypen und Gefäßabweichungen kommen kann [11].

Der Abtransport des nun sauerstoffarmen venösen Blutes aus der Peripherie erfolgt über ein oberflächliches und ein tiefes venöses System. Das oberflächliche System beginnt am Fuß mit dem sog. Rete venosum dorsalis pedis sowie den Arcus venosus dorsalis pedis sowie ihren Zuflüssen aus den Venae marginales und Venae metatarsales, welche sich schließlich in zwei große Hauptvenen, der Vena saphena parva lateral und der Vena saphena magna medial, vereinen. Die Vena saphena magna verläuft weiterhin medialseitig nach kranial bis auf den Oberschenkel und mündet schließlich in die Vena femoralis. Die Vena saphena parva hingegen verläuft laterodorsal und mündet schließlich nach ihrem Durchtritt durch die zwei Muskelbäuche des M. gastrocnemius in die Vena poplitea in der Kniekehle [12].

Auf weitere Feinheiten der Anatomie der unteren Extremität soll hier nicht eingegangen werden, da die Ausführungen dem Verständnis der Kleinzechenchirurgie dienen sollen und keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben.

1.1.2 Physiologie des Fußes und der Kleinzechen

Das physiologische Gangbild hat sich im Laufe der menschlichen Evolution verändert. Waren wir früher, in Zeiten vor der Entwicklung des Schuhwerks, hauptsächlich Vorfußläufer, so ist das heutige beschuhte Gangbild von einer initialen Kontaktaufnahme der Ferse mit dem Untergrund gekennzeichnet [13]. Hierbei hat sich jedoch die grundlegende Funktion des Fußes nicht verändert. Durch seine einzigartige Konfiguration ist er nämlich in der Lage sowohl als Kontakt- und Regelorgan, Stoßdämpfer, aber auch als Hebelarm zur Kraftübertragung während des Ganges zu fungieren.

In diesem Zuge spielt der Hicks Windlass-Mechanismus eine wichtige Rolle. Die o.g. Plantaraponeurose oder auch Plantarfaszie ist hier die Kernstruktur. Das Längsgewölbe wird durch die Verspannung vom Fersenbein bis in die Grundglieder der Zehen reguliert und stabilisiert. Kommt es zu einer Dorsalextension der Zehen, straffen sich die plantaren Strukturen um die Metatarsaleköpfchen, die Plantaraponeurose wird verkürzt und das Fußgewölbe aufgerichtet [14]. Im Jahre 1955 beschrieb Hicks zudem den umgekehrten Windlass-Mechanismus: Wird der Fuß plantigrad belastet, kommt es zu einer vermehrten Zugbelastung auf die Plantaraponeurose sowie die damit verspannten plantaren Platten und Grundgliedbasen. Das Längsgewölbe flacht sich ab, der Abstand zwischen Fersenbein und Mittelfußköpfchen erhöht sich. Konsekutiv ergibt sich durch die o. g. Verspannung eine Plantarflexion der Zehen in den Grundgelenken, welche nun gegen den Untergrund gepresst werden und somit den Abstoßprozess während des Gangzyklus unterstützen [12]. Die Mittelfußköpfchen tragen während der Standphase des Ganges eine große Last, welche sie in Zusammenarbeit mit den Zehen auf eine größere Kontaktfläche übertragen. Vor allem die Strahlen I bis III tragen hier besondere Bedeutung [15]. Somit haben die Kleinzechen eine wichtige Funktion für unsere Mobilität, Leistungsfähigkeit und alltägliche Teilhabe. Neben der passiven Bewegung durch die Plantarfaszie werden die Glieder der Kleinzechen natürlich durch ein komplexes System aktiv ansteuerbarer aber auch unterbewusst feinjustierender Muskeln (siehe Kapitel 1.1.1) im Raum gestellt und bewegt. Folgende Tabelle soll eine

Übersicht über die Muskeln und ihre Funktion im Rahmen der physiologischen Motorik geben.

Tabelle 1: Muskulatur und Motorik der Kleinzehen

Extensoren	Bewegung
M. extensor digitorum longus (EDL)	Extension im MTP, PIP, DIP und OSG, Eversion im USG, Unterstützung Fußpronation
M. extensor digitorum brevis (EDB)	Extension im MTP, PIP und DIP
Flexoren	
M. flexor digitorum longus (FDL)	Flexion im MTP, PIP, DIP, schwache Plantarflexion und Supination des Fußes
M. flexor digitorum brevis (FDB)	Flexion im MTP und PIP II bis IV evtl. V
weitere intrinsische Muskulatur	
M. quadratus plantae	verstärkt FDL-Wirkung
Mm. interossei dorsales pedis	Flexion und Abduktion MTP, Extension PIP und DIP
Mm. interossei plantares	Flexion und Adduktion MTP, Extension PIP und DIP
Mm. lumbricales pedis	Flexion und Adduktion MTP, Extension PIP und DIP
M. abductor digiti minimi	Abduktion und Flexion der 5. Zehe im MTP
M. flexor digiti minimi brevis	Abduktion und Flexion der 5. Zehe im MTP
M. opponens digiti minimi	Opposition, leichte Rotation des 5. Mittelfußknochens

Das Metatarsophalangealenk und die Interphalangealgelenke sind im Rahmen ihrer Beuge- und Streckbewegungen als Scharniergelenke zu betrachten, jedoch unterliegen sie in diesem Bewegungsausmaß als auch in der Transversalebene einem multifaktoriellen Gleichgewicht, welches letztlich auch durch die kleinen Fußmuskeln im Fußgesunden eine Balance der verschiedenen Kräfte erzeugt und somit eine achsgerechte Stellung und balancierte Funktion ermöglicht. Gesondert zu erwähnen ist, dass im Metatarsophalangealgelenk lediglich die intrinsischen Fußmuskeln eine

direkte Beugewirkung entfalten, da sowohl die Sehne des kurzen als auch langen Kleinzehebeugers am Mittel- bzw. Endglied ansetzt. Sie haben demnach nur eine indirekte Flexionswirkung auf das jeweilige Kleinzehengrundgelenk.

Diese Differenzierung ist wichtig für das Verständnis der verschiedenen Kleinzehefehlstellungen und deren Biomechanik, um der jeweiligen Pathologie eine kausale und zufriedenstellende Therapie zu Teil werden zu lassen.

1.2 Pathologien und Deformitäten der Kleinzehe

Unabhängig von der in der Einleitung genannten vielfältigen Ätiopathogenese der einzelnen Kleinzehendeformitäten ist vor allem das Verständnis der Anatomie und der wirkenden Kräfte essenziell, um unter der Behandlung beständige, achsgerechte und funktionelle Ergebnisse zu erzielen und postoperative Rezidive zu vermeiden.

Man kann wohl konstatieren, dass nahezu allen Kleinzehendeformitäten gemein ist, dass das feinmechanische Kraftverhältnis aus Beugern und Strecker, aber auch das Zusammenspiel mit der intrinsischen Muskulatur, aus der Balance geraten und eine einseitige Übermacht durch eine der Gruppen entstanden ist. Zur Folge hat dies eine überschießende Auslenkung des entsprechenden Bewegungsgrades, welche zunächst flexibel ist und später rigide ausgeprägt sein kann. Bezogen auf das MTP-Gelenk führt beispielsweise eine Übermacht der Extensoren gegenüber den intrinsischen Flexoren zu einer übermäßigen Streckstellung. Hierdurch ändern sich auch die Hebelarme und Wirkachsen der übrigen Muskulatur. Ein durch das überstreckt stehende Grundglied entstehender dorsoplantarer Druck auf das Mittelfußköpfchen und dessen umgebende Weichteilstrukturen wird auch als plantare Hyperpression bezeichnet und wird vom Patienten als Metatarsalgie beklagt [13]. Klinisch sehen wir eine vermehrte Beschwielung unter dem betroffenen Mittelfußköpfchen. Die plantare Platte sowie das plantare Fettpolster können im Verlauf luxieren bzw. degenerieren, was die Symptomatik noch aggravieren kann.

Eine weitere Folge kann dann eine transversale oder auch rotatorische Instabilität mit folgender Achsabweichung sein. Eine Überaktivität der Beugemuskeln äußert sich wiederum in einer Flexionsfehlstellung des PIP-Gelenkes. Hier kommt es dorsalseitig konsekutiv zu einem Schuhkonflikt sowie einer druckbedingten Verhornungsstörung, dem Hühnerauge bzw. Clavus. Auch apikale Druckulzerationen können beschwerdeführend sein. Auch eine zusätzlich bestehende Pathologie des ersten

Strahls mit Hallux valgus kann mechanisch zur Entwicklung von Kleinzehendeformitäten beitragen, da eine verminderte Vorspannung der Plantarfaszie zu einer Abmilderung des Windlass-Mechanismus im Bereich des 1. Strahls und somit zu einer erhöhten Beanspruchung der Kleinzehen sowie ihrer Hilfsstrukturen führt [14].

In diesem Sinne spielt auch die Länge der Mittelfußknochen eine Rolle, da eine relative Überlänge sowie eine vermehrte Plantarisierung eine Extension der jeweiligen Zehe im Grundgelenk befördern und schließlich in einer Fehlstellung mit vermehrter plantarer Hyperpression resultieren kann. Sind der 1. und 2. Mittelfußknochen gleich lang, bezeichnet man dies als sog. Quadratfuß oder römischer Fuß. Die weiteren Mittelfußknochen werden nach lateral sukzessive kürzer in ihrer Ausprägung. Ist der 1. Mittelfußknochen kürzer als sein Nachbar, so spricht man von einem griechischen Fuß. Umgekehrt handelt es sich um einen ägyptischen Fuß [15], [16].

Abzugrenzen von diesen biomechanisch hergeleiteten Fehlstellungen sind bestimmte ossäre Pathologien, welche eine sekundäre Achsabweichung verursachen bzw. einleiten können. Hierzu zählen posttraumatisch in Fehlstellung konsolidierte Frakturen der Metatarsalia und Phalangen, sowie deren Fehlstellung als metabolische Folgezustände (bspw. beim diabetischen Fußsyndrom) oder auch die Deformierung von knöchernen Gelenkpartnern durch vaskuläre Ursachen (M. Köhler II). Auch Erkrankungen aus dem rheumatoiden bzw. inflammatorischen Formenkreis spielen gehäuft eine Rolle. Eine Verstärkung des Befundes kann durch das Tragen von zu engem Schuhwerk herbeigerufen werden. Nichtsdestotrotz bedarf es einer dezidierten Einteilung der Kleinzehenefehlstellungen, wobei jedoch international in der Nomenklatur kein abschließender Konsens herrscht.

Grundsätzlich gilt aber, dass zwischen flexiblen und rigiden Fehlstellungen unterschieden wird. Zudem muss die jeweilige Achsabweichung in allen drei Ebenen des Raumes für jedes Gelenk erfasst werden. Uniplanare Deviationen finden meist in der Sagittalebene statt und sind im MTP-Gelenk durch eine Hyperextension und in den Interphalangealgelenken durch Flexion gekennzeichnet. Zusätzliche Abweichungen in der Transversalebene können als Lateral- oder Medialdeviation stattfinden und ggfs. in eine Super- oder Subductusstellung der betroffenen Zehe gegenüber der benachbarten Zehe münden. Auch Rotationsfehler in der Frontalebene können in Form von supinierten oder pronierten Kleinzehen klinisch auffällig werden. Weiterhin

zu bewerten ist die Kongruenz oder auch ein möglicher Verschleiß der einzelnen Gelenke, da dies wichtige Implikationen für die operative Herangehensweise innehat. Folgende Tabelle soll einen kurzen Überblick über die in dieser Studie verwendete Nomenklatur der häufigsten Kleinzehefehlstellungen sowie ihrer Charakteristika geben. Diese ist angelehnt an die verbreitete Darstellung nach Coughlin et al. [17].

Tabelle 2: häufige Kleinzehefehlstellungen und ihre Charakteristika

	Hammerzehen (hammer toe)	Krallen- /Klauenzehen (claw toe)	Hämmerchenzehen (mallet toe)
Zehengrundgelenk (MTP)	neutral bis überstreckt	überstreckt	neutral bis leicht gestreckt
Zehenmittelgelenk (PIP)	gebeugt	gebeugt	neutral
Zehenendgelenk (DIP)	neutral bis überstreckt	gebeugt	gebeugt

1.2.1 Hammerzehenfehlstellungen (hammer toes)

Hammerzehenfehlstellungen gehören zu den häufigsten Kleinzehefehlstellungen und treten solitär oder kombiniert mit weiteren Fußpathologien auf. Hier ist besonders der Spreizfuß mit Hallux valgus zu nennen, da dieser zur Entwicklung der Hammerzehe beitragen kann. Es können ein oder mehrere Kleinzehenstrahlen betroffen sein. Sie können flexibel oder rigide ausgeprägt sein und sind durch eine Hyperextension im Grundgelenk sowie eine Beugefehlstellung im Zehenmittelgelenk gekennzeichnet. Die hauptsächlich extendierende Kraft wirkt über die Extensorenhaube auf das Grundglied und die lange Strecksehne kann über ihren zentralen Zügel nicht suffizient die Fehlstellung im Zehenzwischengelenk korrigieren. Das Zehenendgelenk weist entweder eine Neutralstellung oder eine über die lateralen Zügel der FDL-Sehne vermittelte Überstreckung auf. Häufig entwickeln sich Hornhautschwielen sowohl dorsal über dem PIP-Gelenk als auch plantar unter dem MTP-Gelenk. Das plantare Fettpolster kann nach distal verschoben sein, so dass die Einbettung des Mittelfußköpfchens leidet. Im fortgeschrittenen Stadium kann es neben relativ verkürzten Strecksehnen des jeweiligen Strahls und Gelenkkontrakturen zu einer Degeneration bzw. Ruptur der plantaren Platte kommen [13]. Dies führt möglicherweise wiederum zu einer transversalen Instabilität mit Dislokation ad latus und in einigen Fällen zum Kongruenzverlust im Grundgelenk mit Subluxation oder gar

Luxation des Grundgliedes nach dorsal. Unter diesen Aspekten ist jede einzelne Zehe zu bewerten und individuell zu therapieren.

1.2.2 Krallenzehen- und Klauenzehendeformitäten (claw toes)

Die Krallen- oder Klauenzehendeformität unterscheidet sich von der Hammerzehenfehlstellung durch eine zusätzliche Beugefehlstellung im körperfernen Zwischengliedgelenk (DIP). Sie tritt gehäuft bei neuromuskulären Erkrankungen auf. Ihre stadienweise Befundentwicklung gleicht der der Hammerzehendeformitäten. Auch hier wird die Fehlstellung wahrscheinlich durch die Hyperextension im Grundgelenk eingeleitet. Die intrinsische Fußmuskulatur verliert aufgrund ihrer Verkürzung sowie ihrer nach dorsal verlagerten Zugrichtung die Fähigkeit eine Beugewirkung auf das MTP-Gelenk zu entfalten, so dass die Strecker überwiegen [18]. Zudem erzeugen die ehemals plantaren Faszienzügel, die nun dorsal liegen, während der Anspannung der Plantarfaszie eine Plantarisierung des Mittelfußkopfes, was Stainsby als „Kolbeneffekt“ bezeichnet und die plantare Hyperpression verstärkt [13]. Die plantare Platte degeneriert sukzessive und kann schließlich eine Ruptur erleiden. Das Grundglied der jeweiligen Zehe wird unter Belastung nicht länger plantarisiert, der Windlass-Mechanismus fällt aus und die dysbalancierten Sehnenkräfte erzeugen die typische Deformität mit Subluxation bzw. Luxation des Grundgelenkes bei fortgeschrittenen Befunden.

Der Bodenkontakt der Zehen während des Gangzyklus ist folglich reduziert, so dass die ursprüngliche Druckverteilung zu Lasten der Mittelfußköpfchen eingeschränkt ist. Das Resultat besteht klinisch abermals in der Metatarsalgie.

Zudem sehen wir, wie in Abbildung 1, die typische Clavusbildung über den Zwischengliedgelenken. Auch apikale Druckgeschwüre des Endgliedes kommen gehäuft vor.



Abb. 1: klinischer und radiologischer Aspekt einer Krallenzehendeformität Digitus pedis II

1.2.3 Digitus superductus (crossover toes)

Der Crossover toe tritt gehäuft bei Frauen über 50 Jahren sowie in Kombination mit Hallux valgus auf [19]. Er ist charakterisiert durch eine transversale Abweichung einer Kleizehe auf Höhe des Grundgelenkes. Meist betrifft sie die 2. Zehe, welche nach medial abweicht und sich über den großen Zeh legt. Sie beruht auf einer einseitigen Degeneration oder Ruptur der plantaren Platte [20]. Eine Einteilung der klinischen Ausprägung wurde durch Haddad und Kollegen erarbeitet.

Tabelle 3: Einteilung Crossover Toe nach Haddad

Stadium	Klinik
I	milde Abweichung
II	mittelgradige Abweichung
III	Überlappung des Hallux
IV	vollständige Dislokation



Abb. 2: klinischer und radiologischer Aspekt eines Crossover Toes Digitus pedis II

1.2.4 Hämmerchenzehendeformitäten (mallet toes)

Die Mallet-Zehe, erstmals erwähnt von Lake 1939 [21], bietet neben einer achsgerechten bzw. leicht überstreckten Konfiguration im Grundgelenk bei ansonsten achsgerechter Stellung hauptsächlich eine flexible oder bereits fixierte Beugefehlstellung im Zehenendgelenk (DIP). Diese kann erblich bedingt, aber auch durch zu enges Schuhwerk entstehen. Im Verlauf kann es zur Clavusbildung dorsalseitig über dem Gelenk und auch zu Nagelveränderungen kommen.

1.2.5 Curly toes (Lockenzehen oder auch Kamptodaktylie)

Der sog. Curly toe ist eine familiär gehäufte, seltene Kleinzehendeformität, welche alle 3 Raumebenen betreffen kann und meist an der 4. Zehe, aber auch an der 5. Zehe zu Tage tritt. Namensgeber war Rodney Sweetnam [22]. Ein beidseitiges Auftreten wird gehäuft gesehen [23]. Es wird ebenso zwischen einer flexiblen und rigiden Fehlstellung unterschieden. Neben einer neutralen bis überstreckten Stellung im Grundgelenk kann auch eine Medialdeviation vorhanden sein. Zudem sehen wir häufig eine Flexionskomponente im PIP-Gelenk, teils auch im DIP-Gelenk. Wegweisend für die namensgebende „lockige“ oder auch spiralförmige Fehlstellung ist jedoch eine Rotationsfehlstellung in der Frontalebene, meist in supinatorischer Ausprägung. Anlagebedingt, bspw. durch eine asymmetrische Anlage der Mittelphalanx (Trapezoid-Phalanx), oder durch zu enges Schuhwerk sowie posttraumatischer Ursache, kann diese Fehlstellung ebenfalls für mechanische Komplikationen sorgen.

1.2.6 Digitus quintus varus

Diese Fehlstellung beschreibt das Abweichen des 5. Mittelfußkopfes nach lateral und die damit entstehende varische Fehlstellung der 5. Zehe. Begleitet ist sie häufig durch eine Beugefehltstellung im proximalen und distalen Interphalangealgelenk, aber möglicherweise auch durch eine supinatorische Komponente. Im Falle einer Maximalausprägung sind ebenso Über- bzw. Unterlagerungen mit der 4. Zehe, der sog. Super- bzw. Infra- oder Subduktionsstellung, zu beobachten. Haines und McDougall betrachteten diese Fehlstellung bereits in ihrer Studie von 1954 als Spiegelbild des Hallux valgus [24]. Es wurde gezeigt, dass der laterale Aspekt der Kapsel des 5. Metatarsophalangealgelenkes gedehnt und erweitert wird und so ein laterales Abdriften des 5. Mittelfußkopfes von der Grundphalanx der Kleinzehe und deren plantarer Platte, der verstärkten plantaren Kapsel, ermöglicht wird. Durch diese Abweichung habe sich eine deformierende Zugkraft durch die pseudomedialisierten, plantaren Bindegewebsstrukturen im Sinne eines Bogensehneneffektes ergeben [13]. Klinisch können neben der unbefriedigenden Stellung deutliche Beschwerden zu Tage treten, welche einerseits durch den mechanischen Konflikt mit der Nachbarzehe, andererseits aber auch durch Reibung im Schuhwerk gekennzeichnet sind. Die häufig schmerzhafte Pseudoexostose, das laterale Hervorragen des 5. Mittelfußkopfes mit möglicher Begleitbursitis, wird auch Schneiderballen genannt. Es kommt zur Clavusbildung über dem PIP-Gelenk bis hin zu Hautmazerationen und interdigitalen

Ulzera bzw. Mykosen. Auch Nagelpathologien können auftreten. Therapeutisch stehen neben konservativen Optionen mit Einlagen- und Polster- bzw. Platzhalterversorgung sowie des Tragens weiten Schuhwerks eine Reihe von operativen Ansätzen zur Verfügung. Diese sollten immer auf den jeweiligen Befund angepasst werden.

1.3 Untersuchung

Die Untersuchung des Patienten beginnt nach einer umfangreichen Anamneseerhebung im entkleideten Zustand und findet sowohl unter Belastung im Stand sowie dynamisch im Gang als auch sitzend bzw. liegend ohne Belastung statt. Hierbei werden die Wirbelsäule und Beinachsen sowie mögliche Pathologien der gesamten unteren Extremität inklusive Mittel- und Rückfuß erfasst. Auch die Inspektion des Schuhwerkes inklusive möglicher Hilfsmittelversorgungen können Aufschluss über die Herkunft und Ausprägung der Beschwerden des Patienten geben.

Neben der klassischen Inspektion ist vor allem die Palpation das beste Diagnostikum des Fußchirurgen. So lassen sich Lokalbefunde vom Hautstatus bzgl. Durchblutung, Trophik, mechanischer Belastung, Weichteilpolsterung und Sensorik über den Muskel- und Sehnenstatus inklusive Tonus, passiver und aktiver Beweglichkeit, möglichen Verkürzungen, bis hin zum dezidierten Gelenkstatus mit Flexibilität und Rigidität, fokussierter Schmerzauslösung und Instabilitäten genau eruieren.

Gesonderte Untersuchungen in der Fußchirurgie wie der Push-up-Test zur Feststellung der Zehenstellung unter simulierter Belastung, der Paper-grip-Test zur Einschätzung der Greifkraft der Zehen, der Schubladen-Test zum Nachweis einer dorsoplantaren Instabilität im Zehengrundgelenk, der Silfverskjöld-Test zur Differenzierung einer etwaigen Verkürzung der plantarflektierenden Muskulatur beim Spitzfuß oder der Coleman-Block-Test zur Bewertung der Redressierbarkeit der Rückfußvarusstellung beim Pes cavovarus können spezielle Fragestellungen beantworten [25].

Peripher-nervale Pathologien können mit Hilfe des Mulder-Zeichens (Mortonneurom) oder des Hofmann-Tinel-Zeichens von knöchernen Schmerzursachen differenziert werden. Zur Festlegung des Therapiekonzeptes ist sehr häufig eine radiologische Diagnostik von Nutzen. Standard sollte hier die Röntgenaufnahme des Fußes im seitlichen und dorsoplantaren Strahlengang unter Belastung sein. Gesonderte

Fragestellungen können durch weitere Röntgenbilder wie die Schrägaufnahme, die Sprinteraufnahme oder eine Saltzman-Aufnahme bearbeitet werden. Bei Bedarf ist eine Schichtbildgebung zu erwägen. Die Kernspintomographie oder auch Magnetresonanztomografie (MRT) kann u. a. Aussagen zu weichteiligen Reizzuständen, Kapsel- und Sehnenveränderungen, Knochenödemen, okkulten Frakturen, dem Alter ossärer Traumafolgen, knöchernen Verbindungen im Sinne von Coalitiones, septischen Geschehen und rheumatoid-bedingten Veränderungen geben. Die Computertomografie hingegen findet ihren Einsatz im Rahmen der Planung und Kontrolle komplexer knöcherner Eingriffe aber auch in der Diagnostik neoplastischer Läsionen des Fußskeletts.

Ein weiterer Informationsgewinn lässt sich bei bestimmten Befundkonstellationen durch die Ermittlung der Fußdruckverteilung durch eine elektrische Podometrie oder auch Pedobarografie erzeugen. Klassisch wurde der Bodenkontakt der einzelnen Fußkompartimente durch einen Blauabdruck nachgewiesen. In Zusammenschau all dieser Befunde kann schließlich ein individueller Behandlungsplan erstellt werden.

1.4 Konservative Behandlung

Die konservative Behandlung von Fußdeformitäten ist die Domäne der ambulanten fachärztlichen Versorgung. Prävention spielt eine herausragende Rolle, da viele Erkrankungen des Fußes vom Verhalten und der Lebensführung der Patienten abhängen. Falsches Schuhwerk, fehlgeleitete Einlagenversorgung, mangelnde Bewegung und vaskuläre sowie metabolische Erkrankungen durch Überalimentation und übermäßigen Konsum schädlicher Substanzen wie Alkohol und Tabak tragen zur Entwicklung ernsthafter Pathologien des Fußes bei.

Milde bzw. flexible Fehlstellungen können gezielt durch Training (z. B. Spiraldynamik) und eigenständige Gelenkmobilisationen in einem guten funktionellen Stadium gehalten werden. Physiotherapeutische und physikalische Anwendungen tragen in Form von Krankengymnastik, manueller Therapie, Ergotherapie, Ionto- und Phonophorese (Strom- und Ultraschallanwendung mit Diclofenac-Gel), extrakorporaler Stoßwellentherapie (ESWT) und Röntgenreizbestrahlung zur Beschwerdelinderung und Fußgesundheit bei. Zudem stehen dem Therapeuten Regional- und Lokalanästhesieverfahren im Rahmen der Neuraltherapie zur Behandlung neuropathischer Schmerzen oder peripherer Nervenengpass-Syndrome zur Verfügung. Hilfsmittelversorgungen sollten individuell und unter Kenntnis der

genauen Pathologie des einzelnen Patienten stattfinden. Konfektionierte Einlagen erfüllen nur selten den erdachten Zweck. Diese sollten nach Maß mit Abdruck des Fußes im Sitzen unter Beachtung der verschiedenen Härtegrade (Shore-Härten) stützend erstellt werden. Dabei ist beispielsweise die Einarbeitung einer Mittelfußpelotte aus Sicht des Autors obsolet.

Eine retrokapitale Abstützung kann hingegen von großem Nutzen sein. Bei besonderen Weichteilgegebenheiten sind eine (diabetische) Weichbettung oder auch eine Hohlbettung der prominenten Knochenregionen notwendig. Auch die Einarbeitung von Verstärkungen im Sinne einer Rigidusfeder bei Großzehengrundgelenksarthrose sind denkbar.

Bei fortgeschrittenen Befunden kann weitere Abhilfe durch die Anlage einer Schmetterlings- oder Ballenrolle geschaffen werden. Weiterhin können Zügelungsothesen und Nachtlagerungsschienen möglicherweise bei konsequenter Anwendung das Voranschreiten bestimmter Erkrankungen verhindern. Auch Platzhalter und individuelle druckmindernde Polster können Erleichterung für den Patienten erbringen. Neurologisch eingeschränkte Patienten bedürfen ggfs. funktionell unterstützender Hilfsmittel. Bei komplexen Fußdeformitäten oder bestimmten postoperativen Zuständen sind oftmals orthopädische Maßschuhe oder Maßstiefel indiziert, welche ebenfalls individuell rezeptiert und angefertigt werden müssen.

1.5 Operative Behandlung

Bereits 1826 beschreibt Robert Liston die chirurgische Exzision von schmerzhaften, tumorösen Veränderungen der Zehen [26]. In den 1920er Jahren führte G. Hohmann dann als Lehrstuhlinhaber für Orthopädie an der Universität zu München operative Korrekturen von Kleinzehen durch, in dem er eine Grundgliedköpfchenresektion vornahm und dieses Verfahren publizierte [27]. Bereits damals wurde die korrigierte Stellung der operierten Zehe für drei Wochen mittels Kirschner-Draht retiniert.

Auch Sehnenkorrekturen wurden nach Görres bereits 1921 als Beugesehnenentodese zur Behandlung der Krallenzehe durchgeführt [28]. Die Transposition der langen Kleinzehenbeugesehne im Sinne einer dorsalen Umflechtung des Grundgliedes wurde durch Girdlestone entwickelt und dient zur Korrektur flexibler Hammerzehen [29].

Unzählige operativ-technische Ansätze wurden in den Folgejahrzehnten entwickelt, um jegliche biomechanischen Probleme der Kleinzehen zu lösen.

Umstellungsosteotomien, Gelenkversteifungen, resezierende Verfahren, Gelenklösungen, Sehnenverlängerungen, -raffungen, -anheftungen oder -verlagerungen in Kombination mit zunehmend modernen Implantaten gehören hierbei u. a. zum chirurgischen Portfolio. Allen diesen Verfahren ist dennoch gemein, dass sie grundsätzlich die gleichen operativen Ziele verfolgen.

Das Bestreben einer jeden kurativen Kleinzehenkorrektur ist die Herstellung einer physiologischen und funktionellen Stellung des betroffenen Strahls sowie eine gute Stabilität und ausreichende Beweglichkeit der Gelenkgruppe für den Abroll- und Abstoßprozess. Mechanische Konflikte sollen sowohl interdigital als auch mit dem umgebenden Schuhwerk aufgelöst werden.

Ein weiteres Kernziel ist die anhaltende Schmerzfreiheit inklusive der durch die plantare Hyperpression entstandenen Metatarsalgie. Hierzu muss auch geklärt werden, ob diese Ziele durch eine reine Kleinzehenkorrektur zu erreichen sind oder der Fuß als Ganzes einer operativen Korrektur bedarf. Da eine Vielzahl der Patienten jedoch vaskuläre und metabolische Vorerkrankungen hat, sei hier auch der Zehenerhalt als wichtiges Operationsziel genannt. Eine Risiko-adjustierte und ökonomische Herangehensweise ist die Pflicht des Fußchirurgen.

1.5.1 Offen-chirurgische Therapie

Die operative Behandlung von Kleinzehenfehlstellungen umfasst eine Vielzahl weichteiliger und knöcherner Techniken, welche meist kombiniert und sequenziell eingesetzt werden. Die Korrektur einer flexiblen Hammerzehe kann durch einen FDL-Sehnentransfer erreicht werden. Da die Patienten aber häufig erst den entsprechenden Leidensdruck entwickeln, wenn sich eine rigide Hammerzehen deformität ausgebildet hat, ist dieses Verfahren in der hiesigen Studie nicht zur Anwendung gekommen. Die Therapie der semirigiden oder rigiden Ausprägung erfolgt nach Lagerung des Patienten, Anlage einer Blutsperrung, mehrfacher chirurgischer Desinfektion und steriler Tuchabdeckung häufig nach der Korrektur des 1. Strahls. Bei einem Mehrstrahleneingriff und entsprechend den Komorbiditäten des Patienten ist eine antimikrobielle Abschirmung per single shot zu erwägen. In dieser Studie erhielten die Patienten Cefuroxim 1,5 g intravenös vor Aktivierung der Oberschenkel-Blutsperrung in Höhe von 300 mmHg.

Der offen-chirurgische Zugang zur Kleinzehe erfolgt dorsalseitig longitudinal als mediane Inzision etwa von der Diaphyse der Mittelphalanx bis zum Grundgelenk, wo diese als gewinkelter Schnitt bis über das Mittelfußköpfchen fortgeführt wird, um das Risiko einer erneuten narbig bedingten dorsalen Weichteilverkürzung zu vermindern und so einem Hyperextensionsrezidiv im MTP-Gelenk vorzubeugen. Alternativ sind quere, geschwungene und auch plantare Zugänge möglich (Schritt 1).



Abb. 3: offene Kleinzechenchirurgie Schritt 1 - 3

Folgend wird nach Präparation durch das Subkutangewebe zur Entspannung der verkürzten dorsalen Weichteile die lange Strecksehne z-förmig durchtrennt. Hierbei ist die Planung der Länge der Zügel zu beachten, um später eine physiologische Sehnenvorspannung in Korrekturstellung einstellen zu können (Schritt 2).

Ist im Verlauf eine Stainsby-Prozedur mit Grundgliedbasenresektion und Anheftung der FDL-Sehne als Gelenkinterponat an die EDL-Sehne geplant, wird die lange Strecksehne proximal des MTP-Gelenkes quer tenotomiert [30]. Dies wird häufig bei rheumatisch bedingten Kleinzehendeformitäten notwendig.

Besteht keine transversale Instabilität kann nun die lateral verlaufende, kurze Strecksehne quer tenotomiert werden. Der distale Zügel der EDL-Sehne wird angeklemt und es erfolgte die Lösung der Streckerhaube mit den Extensorenzügel bis über das PIP-Gelenk auf die Mittelphalanx. Die Kollateralbänder des Zehenzwischengelenkes werden durchtrennt. Nun lassen sich sukzessive unter manueller Beugung des Gelenkes die Knorpelflächen inspizieren. Anhand der gesamten Befundkonstellation wird nun eine Resektions-Interpositions-Arthroplastik beispielsweise nach Hohmann mit Entfernung der Gelenktragenden Knochenanteile oder eine Versteifung des PIP-Gelenkes durchgeführt. Dies kann mit der oszillierenden Säge oder dem Luer vorbereitet werden (Schritt 3).

Im Falle der Arthrodese kann entsprechend der geplanten Fixationsmethode mit Kirschnerdraht, Drahtzerklage oder intramedullärem Implantat nun die sparsame Entknorpelung entweder biplanar als End-zu-End-Arthrodese, in Satteldachform oder mittels Zapfen-Methode erfolgen [31]. Auch eine Regulierung der Zehenlänge ist in diesem Schritt durchführbar. Ebenso können seltene interphalangeale Achsabweichungen durch keilförmige Schnittführungen achsgerecht eingestellt werden.

Die Patienten dieser Studie wurden durch eine kongruente v-förmige Osteotomie der artikulierenden Knochenanteile sowie späterer Fixation mittels axial eingebrachten Kirschnerdrahts in physiologischer Stellung versorgt.



Abb. 4: offene Kleinzechenchirurgie Schritt 4 - 6

Vor der endgültigen Fixation sollte jedoch die Grundgelenkkapsel adressiert und balanciert liberiert werden (Schritt 4). Ein intraoperativer Push-up-Test gibt Auskunft darüber, ob sich nun eine physiologisch gestellte knöcherne Kette erreichen lässt.

Bei ausgeprägter mediolateraler oder dorsoplantarer Instabilität sollte eine Inspektion und ggfs. eine Rekonstruktion der plantaren Platte erfolgen [32].

Ein plantarseitiges Umfahren des Mittelfußkopfes mit dem Mc-Glamry-Elevatorium kann die Reposition der plantaren Stabilisatoren erleichtern (Schritt 5). Auch ein Transfer der langen Beugesehne der Zehe ist zur Stabilisierung denkbar. Auf eine milde Erweiterung des Grundgelenkspaltes während des Fixationszeitraumes sollte geachtet werden, um einer Kapselschrumpfung entgegenzutreten (Schritt 6).

Sollte in der präoperativen Untersuchung und Röntgenbildgebung eine Überlänge eines Mittelfußknochens, eine deutliche Gelenkspaltverschmälerung oder eine

Subluxation bzw. Luxation im Grundgelenk aufgefallen sein, ist ein korrigierender Eingriff am Mittelfußknochen zu diskutieren. Auch bei pathologischem Ergebnis des abschließenden intraoperativen Push-up-Tests sollte dies indiziert werden. Hierzu steht beispielsweise die Weil-Osteotomie zur Verfügung. Diese erfolgt nach entsprechender Weichteilvorbereitung am distalen Os metatarsale langstreckig von distal-dorsal nach proximal plantar annähernd parallel zur späteren Belastungsebene. Das Köpfchenfragment wird nach proximal versetzt, bis die gewünschte Verkürzung erreicht ist. Die Osteotomie mit Schraubenosteosynthese von 2,0 bis 2,5 mm fixiert. Alternativ kann die, in dieser Studie verwandte, dorsale Closing-Wedge-Osteotomie mit Schraubenfixation hierzu herangezogen werden. Zudem existieren mannigfaltige weitere Operationstechniken, z.B. nach Helal, welche hier nicht im Detail dargestellt werden sollen. Im weiteren Operationsverlauf kann eine Stellungs- und Lagekontrolle mittels Bildwandler sichergestellt werden.

Im Anschluss erfolgt, mit Ausnahme der Stainsby-Prozedur, nach Spülung des Situs die Rekonstruktion der Streckerloge gemäß der neuen Stellung durch Naht der Streckerhaube und der langen Strecksehne der Zehe (Schritt 7). Ein zweischichtiger Wundverschluss beendet den Eingriff an diesem Strahl (Schritt 8).



Abb. 5: offene Kleinzechenchirurgie Schritt 7 und 8

Die gesamte Versorgung der Kleinzehendeformitäten bedarf einer ständigen intraoperativen Bewertung. Nicht immer müssen alle o. g. Schritte durchgeführt werden. Die Beurteilung erfolgt grundsätzlich von proximal nach distal. Die ausstehende Versorgung der Beugefehlstellung des DIP-Gelenkes, wie sie bei der Krallen- bzw. Klauenzehe imponiert, wird im Folgenden im Rahmen der Versorgung des Mallet toes beschrieben. Im Falle einer flexiblen Beugefehlstellung im körperfernen Zwischengliedgelenk (DIP) kann die Behandlung als perkutane FDL-

Tenotomie ggfs. mit plantarer Kapseleröffnung durchgeführt werden. Rigide Deformitäten hingegen können durch eine Arthrodesse des DIP-Gelenkes und entsprechender Fixation durch Kirschner-Draht, Drahtzerklage, Schraube oder intramedulläres Implantat operativ versorgt werden. Alternativ ist in Ausnahmefällen auch eine Resektionsarthroplastik denkbar. Hierzu wird nach o. g. Operationsvorbereitung ein querer, longitudinaler oder geschwungener Zugang zum Zehenendgelenk gewählt. Verletzungen der Nagelmatrix sind zu vermeiden. Nach Präparation durch das Unterhautgewebe wird die lange Strecksehne dargestellt und wahlweise längs oder quer eröffnet. Auch hier werden die Kollateralbänder des Gelenks gelöst, die Gelenkflächen händisch exponiert und entsprechend der Operationsplanung eine Resektionsarthroplastik mit Entfernung der Gelenkpartner oder eine sparsame Knorpelentfernung in Satteldachform zur Versteifung des Gelenkes mittels Säge oder Luer durchgeführt. Ein dorsalbasiges, keilförmiges Vorgehen kann die Beugefehlstellung suffizient korrigieren. Die achsgerechte Fixierung kann durch das bevorzugte Osteosynthesematerial erfolgen. Nach Röntgenkontrolle und Spülung wird die EDL-Sehne readaptiert und die Wunde verschlossen.

Isolierte Fehlstellungen, wie der Crossover toe, können auch isoliert an der auslösenden Pathologie therapiert werden. So kann eine Eröffnung des Grundgelenkes mit anschließendem Transfer zweier Zügel der FDL-Sehne von plantar auf die Streckseite und asymmetrischer Spannungsanlage der Zügel zu einer ausreichenden Achskorrektur und Stabilität führen. Supportiv kann für die Zeit der Weichteilheilung eine Kirschner-Drahttransfixation erfolgen. Im Falle der vorherrschenden Medialdeviation der 2. Zehe kann auch die kurze, von lateral kommende Strecksehne proximal abgesetzt, armiert, transossär quer durch die Grundgliedbasis geführt und letztlich als lateraler Kollateralbandersatz mittels Biotenodese-Schraube im Mittelfußkopf verankert werden (EDB-Transfer). Unter der gleichen Bezeichnung ist auch eine distale Tenotomie der EDB-Sehne möglich, um diese unterhalb des Ligamentum intermetatarsium transversum hindurch zum Grundglied zu führen und dort mittels transossärer Naht oder Fadenanker zu fixieren. Sollten diese weichteiligen Techniken nicht zur gewünschten Stellungskorrektur führen, ist ebenso eine suprabasale Closing-wedge-Osteotomie mit transossärer Naht bzw. Kirschner-Drahtfixation oder die Kombination mit o. g. weiteren Verfahren möglich.

Im Bereich der Curly toes lassen sich milde Fehlstellungen eventuell bereits durch eine perkutane Kapsulotomie und Tenotomie dominanter Strukturen abmildern. Eine achsgerechte Ausrichtung der Zehe kann hingegen über eine mehrdimensionale Wedge-Osteotomie oder eine achskorrigierende Gelenkversteifung je nach Zentrum der Rotation und Angulation (CORA) erfolgen. Zur Fixation stehen weiterhin o. g. Osteosynthesematerialien bereit. Auch bei der operativen Behandlung des Digitus quintus varus lassen sich milde Fehlstellungen oder ebenso Deformitäten im Rahmen der Behandlung multimorbider Patienten ggfs. durch rein weichteilige Eingriffe korrigieren. Hier können sowohl perkutane Tenotomien als auch aufwendigere Korrekturen wie der Lapidus-Sehnentransfer mit Verlagerung der Extensor digiti minimi-Sehne auf die Aponeurose des M. abductor digiti minimi erwogen werden [33]. Ausgeprägtere Fehlstellungen werden zusätzlich mit einem knöchernen Eingriff behandelt. Osteotomien und Arthrodesen können unter Entnahme von Knochenkeilen achskorrigierend angewandt werden.

Resezierende Verfahren, wie bspw. nach Ruiz Mora, sind Ausnahmeindikationen vorbehalten [34]. In dieser Studie wurde im offen-chirurgischen Arm jeweils eine Arthrodesse des PIP-Gelenkes mit Kirschnerdraht-Fixation und jeweiliger kapsulärer sowie tendinöser Weichteilkorrektur angewandt. Patienten mit Schneiderballen wurden nicht eingeschlossen.

1.5.2 Minimal-invasive Kleinzehenchirurgie

Die Idee der minimal-invasiven Behandlung knöcherner Erkrankungen des Fußes kam schon in der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts auf. Bereits 1945 wurden durch Morton Polakoff chirurgische Instrumente zur perkutanen Abtragung von Exostosen am Vorfuß entwickelt, welche bis in die 1960er Jahre weiterentwickelt und angewandt wurden [35].

Einen Meilenstein stellte die Nutzung motorisch betriebener Fräsen dar. Nachstehend ist das in dieser Studie verwandte System dargestellt:



Abb. 6: MIS-Instrumentarium

1974 bot L. Hymes einen ersten spezialisierten Kurs diesbezüglich an der Temple Universität in Philadelphia an [36]. In den Folgejahren konnte sich das Verfahren jedoch aufgrund hoher Komplikationsraten nicht durchsetzen. Es fehlte an wissenschaftlichen Grundlagen sowie spezialisiertem Gerät. So wurden beispielsweise Zahnarztfräsen verwandt, welche aufgrund der hohen Drehzahl thermische Gewebeschäden verursachten.

Erst S. A. Isham konnte in den 1990er Jahren mit seinen Publikationen Abhilfe schaffen. Er etablierte Standardzugänge und neue Osteotomietechniken [37].

Zu dieser Zeit wurden auch in Europa erste minimalinvasive Fußkorrekturen durchgeführt. Hier sei P. Bösch in Österreich zu nennen, welcher zunächst die Großzehe versorgte [38]. Einen tatsächlichen Eintritt in den chirurgischen Alltag erfuhr die minimalinvasive Technik in der Fußchirurgie erst nach umfassender Aufarbeitung der anatomisch-chirurgischen Grundlagen durch M. de Prado und Kollegen [39]. Deren Sicherheit und Wirksamkeit konnten schließlich durch erste Studien belegt werden [40] und sind heute Gegenstand unzähliger wissenschaftlicher Arbeiten, da fortwährend Weiterentwicklungen stattfinden.

Grundsätzlich haben diese einen völlig anderen therapeutischen Ansatz als die oben beschriebenen offen-chirurgischen Techniken. Zur Kleinzehenkorrektur kann der jeweilige Situs über winzige Stichinzisionen und mittels Präparation durch besondere Raspatorien und Elevatorien erreicht werden. Für perkutane Sehnendurchtrennungen, Bandlösungen und Kapseleröffnungen wird ein besonderes Skalpell, das sogenannte „beaver blade“, genutzt. Die eigentliche knöcherne Achskorrektur der Zehen erfolgt jedoch nicht auf Gelenkebene, sondern durch subtotale bzw. totale Osteotomien der Zehenglieder oder des körperfernen Mittelfußknochens (DMMO). Je nach Anlage der Basis der Osteotomie können so neben sagittalen Fehlstellungen auch transversale und rotatorische bzw. deren Kombination ausgeglichen werden. Treten mehrgliedrige Fehlstellung eines Strahls auf, können auch Osteotomien mehrerer Knochen erfolgen. Auch perkutane Arthrodesen sind durch perkutane Entknorpelung kleiner Gelenke möglich.

Werden minimal-invasive Osteotomien der Metatarsalia durchgeführt, sollten diese in Übereinstimmung mit de Prado et al. nach der Leventen-Formel erfolgen [39]. Demnach sollte bei Adressierung einer Pathologie des 2. Mittelfußknochens auch der dritte osteotomiert werden. Bildet der 3. Mittelfußknochen die wegweisende Fehlanlage sollten die Metatarsalia 2 bis 4 osteotomiert werden. Eine ursächliche Abweichung des 4. Mittelfußknochens sei wiederum durch zusätzliche Osteotomie des 3. Os metatarsale zu behandeln.

Es werden rotierende Fräsen, die sogenannten „Burrs“, angetrieben von spezialisierten Maschinen mit hohem Drehmoment und niedriger Drehzahl (< 6000 U/min empfohlen) unter ständiger Zufuhr steriler NaCl-Lösung genutzt (siehe Abbildung 6). Die Flüssigkeit dient dem Ausspülen des entstehenden knöchernen Fräsmehls. Es sind verschiedenste Ausführungen der Fräsen erhältlich. Man unterscheidet Wedge Burrs zum Modellieren von Knochen und Shannon Burrs zum Durchtrennen von Knochen, welche in diversen Stärken und Längen verfügbar sind. Die Patienten dieser Studie wurden im Bereich der Kleinzehen mit 2 x 12 mm bzw. 2 x 8 mm Shannon Burrs behandelt.

Die operative Sequenz beginnt jedoch zunächst mit dem Weichteilmanagement. Die häufige Beugefehltstellung im Zehenzwischengelenk wird über eine mediale oder laterale seitliche Stichinzision etwa auf Höhe der Grundglieddiaphyse adressiert. Mit dem Raspatorium werden plantarseitig knochennah die Beugesehnen bis zum PIP-

Gelenk mobilisiert. Nun kann durch eine plantare Kapseleröffnung und Ablösung der Ansätze des kurzen Kleinzehebeugers unter manuellem Druck die Beugefehlstellung aufgelöst werden (Schritt 1). Auch eine Beugefehlstellung im Zehenendgelenk kann durch plantare Kapsulotomie und Durchtrennung der langen Beugesehne achsgerecht ausgerichtet werden. Bei Gelenkspaltverschmälerung oder transversaler Abweichung im Grundgelenk, sowie ausgeprägter Hyperextensionsstellung der Grundphalanx oder struktureller Verkürzung der Strecksehnen kann nach Navigation mittels Bildwandler auf Höhe des Grundgelenkspaltes eine dorsale, paratendine Stichinzision angelegt werden, um dortige Verkürzungen zu eliminieren. Hierzu kann eine balancierte oder einseitige Kapsellösung, aber auch eine partielle oder subtotale Durchtrennung der Strecksehnen herangezogen werden (optionaler Schritt 2). Es gibt jedoch auch Studien, die den Einsatz von perkutanen Tenotomien kritisch bewerten und ein schlechteres funktionelles Ergebnis bei Patienten mit Sehneneingriff gegenüber rein knöchernen Korrekturen nachweisen konnten [41]. Ein Push-up-Test zeigt im Verlauf, ob die Indikation zur knöchernen Korrektur verbleibt. Bei persistierender Überstreckung im Grundgelenk wird plantar nun paramedian auf Höhe der Grundgliedbasis über eine Stichinzision ein dünner Kirschner-Draht eingebracht, um die Osteotomieebene röntgenologisch bestätigen zu können (Schritt 3). Der Arbeitskanal wird mit dem Raspatorium erweitert und der geplante Osteotomiebereich von Weichteilen befreit. Die Fräse kann nun tangential entsprechend der geplanten Osteotomie platziert und unter der gewünschten Drehzahl so unter fächernden Bewegungen durch den Knochen getrieben werden, dass die gegenüberliegende Kortikalis intakt bleibt. Aufgrund des Durchmesser der Fräse entsteht de facto eine Keilosteotomie, welche auf manuellen Druck über die intakte Knochenhaut der Gegenseite geschlossen werden kann und somit die gewünschte Korrektur erreicht wird (Schritt 4).



Abb. 7: minimal-invasive Kleinzechenchirurgie Schritt 1 – 4

In Ausnahmefällen, wie der Trapezoid-Phalanx oder sonstigen Rotationsfehlern, kann auch eine vollständige Durchtrennung des Knochens zur Achskorrektur notwendig werden [42]. Diese geschieht vereinzelt auch akzidentell und sollte entsprechend durch eine Retention gesichert werden. Besteht die Ursache der Kleinzechenfehlstellung in einer Überlänge der Mittelfußknochen, steht mit der distalen minimal-invasiven Metatarsale-Osteotomie (DMMO) eine wirkungsvolle Technik zur operativen Korrektur zur Verfügung. Hier wird über eine paratendine dorsale Stichinzision auf Höhe des Mittelfußköpfchens und nach Abschiebung der Weichteile mit dem Raspatorium eine vollständige, retrokapitale, extraartikuläre Schrägosteotomie von distal-dorsal nach proximal-plantar über ein laterales Ansetzen der Fräse sowie eine geschwungene Osteotomiebewegung der ausführenden Hand erzeugt. Die Idee ist, dass sich das Köpfchenfragment unter Belastung eigenständig in die gewünschte Korrekturposition begibt und dort schließlich konsolidiert. Dies kann jedoch nur erfolgen, wenn mindestens ein weiterer Strahl ebenso osteotomiert wird, da sonst der knöcherne Rahmen zu rigide ist. Die perkutane Versorgung des Digitus quintus varus erfolgt wahlweise auch als suprabasale Grundgliedosteotomie mit individuellem Weichteilmanagement. Die postoperative Sicherung der Korrekturstellung kann durch eine diffizile Anlage von Zügel- und Tapeverbänden erfolgen. Unsere Patienten erhielten eine axiale Kirschnerdraht-Transfixation bis in die Grundgliedbasis für 4 Wochen postoperativ. Letztlich stehen unzählige Techniken zur individualisierten Versorgung zur Verfügung. Diese können hier nicht im Detail dargestellt werden.

1.6 Indikationen/Kontraindikationen in der Kleinzehenchirurgie

Eine Indikation zur operativen Therapie sämtlicher o. g. Fehlstellungen liegt vor, wenn die konservativen Behandlungsansätze fehlgeschlagen sind und der Leidensdruck des Patienten dies erfordert.

Rein kosmetische Eingriffe sind hingegen abzulehnen. Grundsätzlich fällt die Kleinzehenchirurgie in den Bereich der elektiven Chirurgie, jedoch ergeben sich Sonderfälle, die eine zeitnahe Versorgung erfordern. Hier seien vornehmlich drohende Druckulzerationen zu nennen. Ob die offen-chirurgischen oder minimal-invasiven Techniken angewandt werden, liegt im Ermessen des Chirurgen und hängt auch vom Wunsch des Patienten ab. Folgende Tabelle soll einen Überblick über die Indikationen zur chirurgischen Therapie geben.

Tabelle 4: Indikationen in der Kleinzehenchirurgie

Indikationen	MIS	offene Chirurgie
bei Versagen der konservativen Therapie	✓	✓
bei fortgeschrittenen Deformitäten	✓	✓
bei mechanischen Konflikten	✓	✓
bei drohenden Mazerationen/Druckulzera	✓	✓
bei hohem Leidensdruck/Schmerzen	✓	✓
bei daraus resultierender Immobilität	✓	✓

Natürlich können beiderlei Verfahren an ihre Grenzen stoßen, so dass multifaktoriell abgewogen werden muss. Wie ist der Weichteil- und Gefäßstatus? Ist das Verfahren für die Ausprägung der Fehlstellung geeignet? Ist eine vollständige Achskorrektur geplant oder ist eine Abmilderung der Beschwerden ausreichend? Sind extraartikuläre Knochenkorrekturen in der Lage, die vorliegende artikulare Achsabweichung zu korrigieren? Können pathologische Weichteilzugkräfte auch perkutan ausreichend behandelt werden? Aufgrund dieser und weiterer Erwägungen ist es vor allem wichtig, den Patienten vollumfänglich aufzuklären. Hierzu gehören auch mögliche, notwendige Operationserweiterungen, da manche Indikationen erst intraoperativ gestellt werden müssen. Bei metabolisch eingeschränkten Patienten, wie bspw. insulinabhängigen Diabetikern, aber auch gefäßkranken Patienten mit u. a. peripherer arterieller Verschlusskrankheit (pAVK) ist die Indikation zur Operation vorsichtig zu stellen, da das perioperative Risiko für Wundheilungsstörungen und Infekte deutlich erhöht ist.

Auch eine unzureichende Weichteilsituation nach Trauma, im Sinne von Pergamenthaut durch Glukokortikoid-Dauertherapie, altersbedingt oder ebenfalls durch Stoffwechselerkrankungen sollte zur Zurückhaltung mahnen. Immunsuppressive Medikamente wie Biologika sind entsprechend ihrer Pharmakogenetik zeitgerecht abzusetzen, da sie im klinischen Alltag zu ausgeprägten Wundheilungsstörungen führen können. Eine akute lokale Infektsituation stellt zudem eine absolute Kontraindikation zur elektiven Kleinzehenkorrektur dar.

Tabelle 5: Kontraindikationen in der Kleinzehenchirurgie

Kontraindikation	absolut	relativ
lokaler Infekt	✓	
kritische Perfusionsverhältnisse	✓	✓
Incompliance		✓
kritische Weichteilverhältnisse		✓
Immunsuppressiva-Dauertherapie (u.a. Kortikoide/Biologika)		✓
Diabetes mellitus Typ I/II		✓
mangelnde Teilbelastungsfähigkeit		✓
chronische Wunden		✓
Nikotinabusus		✓
Osteoporose		✓

1.7 Komplikationen in der Kleinzehenchirurgie

Vorhersehbare intra- oder postoperative Schwierigkeiten oder auch unvorhersehbare Zwischenfälle bzw. Befundverschlechterungen stellen in der operativen Medizin einen zentralen Punkt in der Aufklärung der Patienten dar.

Intraoperativ können dies u. a. Blutungen, ungewollte iatrogene Gewebsverletzungen, eine unzureichende Reposition der Knochen oder ein Maschinen- bzw. Materialversagen sein. Diese Fallstricke können durch eine gute Planung sowie ein erfahrenes Team minimiert werden. Häufig wird prophylaktisch auch eine Einmalgabe eines Antibiotikums zur Operation verabreicht.

Im postoperativen Verlauf unterteilt man in Früh- und Spätkomplikationen, welche durch spezifische Maßnahmen verhindert oder abgemildert werden können.

Zu den Frühkomplikationen zählen Nachblutungen, Weichteilschwellungen, Wundheilungsstörungen inklusive Wunddehiszenzen, Wundinfektionen, Taubheitsgefühl im Operationsgebiet und Durchblutungsstörungen bis hin zur Gewebnekrose mit Zehenverlust. Auch eine ungewollte Materiallockerung oder ein mechanischer Konflikt, beispielsweise mit einem eingebrachten Kirschnerdraht, werden hierunter subsumiert. Entsprechend des Ausmaßes der chirurgischen Maßnahme entsteht im Körper auch eine gesteigerte Stoffwechselaktivität, der sogenannte Postaggressionsstoffwechsel, welcher einen gewissen Einfluss auf o. g. Wundkomplikationen haben kann. Auch medikamentenbedingte, unerwünschte Effekte wie Schwindel oder Übelkeit sind zu nennen. In diesem Feld ist neben Basismaßnahmen, wie einer bedarfsgerechten Schmerzmitteltherapie sowie einer entsprechenden Kühlungs- und Lagerungstherapie, eine gute Patientenkommunikation und Schulung wegweisend. Eine standardisierte Visite durch den Operateur am Abend des Operationstages kann komplikative Verläufe frühzeitig erkennen lassen. Zudem können thromboembolische Gefäßverschlüsse im Verlauf auftreten. Diese finden jedoch mitunter erst mit einigem zeitlichen Abstand zur Operation statt. Ihr Risiko wird durch die Gabe niedermolekularen Heparins für die Zeit der eingeschränkten Mobilität reguliert. Auch allergische Reaktionen auf sämtliche angewendete Fremdstoffe können sowohl frühzeitig als auch mit Verzug klinisch auffällig werden, so dass eine Entfernung des Auslösers oder sogar ein medikamentöses Eingreifen nötig wird.

Nach Dindo und Clavien können die postoperativen Komplikationen entsprechend der zur Behandlung notwendigen Maßnahmen in 5 Grade eingeteilt werden [43].

Tabelle 6: Einteilung postoperativer Komplikationen nach Dindo und Clavien

Grad	Maßnahmen
I	nur Antiemetika, Antipyretika, Analgetika, Diuretika, Elektrolyte, Physiotherapie, bettseitige Wundspreizung
II	weiterführende pharmakologische Therapie, Gabe von Blutprodukten, parenterale Ernährung
III	chirurgische, endoskopische oder radiologische Intervention
IV	intensivmedizinische Behandlung bei lebensbedrohlichen Komplikationen
V	Tod

Diese Klassifikation richtet sich nach der entsprechenden ärztlich ergriffenen Behandlungsmethode postoperativer Komplikationen, aber kann die spezifischen Probleme nach Kleinzehenkorrekturen nicht vollständig abbilden. Diese sind in u.g. Tabelle 8 ersichtlich und sollten möglichst der obenstehenden Klassifikation zugeordnet werden. Zu den sogenannten Spätkomplikationen gehören Weichteilprobleme, wie unschöne Narben bis hin zu Keloiden oder Strikturen, aber auch Gelenkkontrakturen bzw. sogenannte Arthrofibrosen, also Gelenkvernarbungen. Diese können durch gezielte lokale Mobilisationen und Massagen verhindert werden. Auch periphere Nervenengpass-Syndrome können durch eine veränderte Fußarchitektur ausgelöst werden und müssen ggfs. mittels Infiltration behandelt werden. Eine seltene Komplikation ist das komplexe regionale Schmerzsyndrom (CRPS), eine neurovaskuläre Dysregulation, welche langwierig und schwer zu behandeln ist. Hier kann neben medikamentöser Schmerztherapie ggfs. eine mehrtägige Schmerzkatheteranlage mit intensiver manualtherapeutischer Mobilisation Abhilfe schaffen. Besondere Beachtung finden naturgemäß Rezidivfehlstellungen inklusive Über- und Unterkorrekturen der Achsverhältnisse. In einigen Fällen können diese durch knöcherne Heilungsstörungen wie die Ausbildung einer sogenannten Pseudarthrose, auch als „Falschgelenk“ bezeichnet, begründet sein. Von dieser Komplikation spricht man definitionsgemäß nach einem zeitlichen Intervall von 6 Monaten zur Operation, da vorher eine sogenannte Schlecht- oder Nicht-Vereinigung der Knochen (mal- bzw. non-union) vorliegt. In dieser Studie wurden auch spezifische Langzeitkomplikationen wie die Verschlechterung der schmerzarmen Gehstrecke und ein Fortbestehen eines Schuhkonfliktes der Kleinzehen erfasst.

1.8 Beurteilung der prä- und postoperativen Fußfunktion

Zur Erfassung von postoperativen Ergebnissen oder Erfolgen werden in der Medizin neben objektiven klinischen Daten häufig Patientenberichte verwendet. Diese PROMs (patient related outcome measurements) können subjektive Empfindungen der Patienten in messbare Daten überführen und somit Auskunft über die wahrgenommene Qualität oder den Erfolg einer medizinischen Leistung geben.

So eignen sich sie durch den Vergleich von prä- und postoperativen Daten z. B. zur Beurteilung der jeweiligen Entwicklung von Schmerzwahrnehmung und Funktion, also letztlich der subjektiven Lebensqualität.

Im Rahmen wissenschaftlicher Studien der internationalen Fuß- und Sprunggelenkchirurgie häufig genutzte Scores sind der AOFAS-PROM der amerikanischen orthopädischen Fuß- und Sprunggelenkgesellschaft, welcher speziell für den Vorfuß als „Lesser Metatarsophalangeal-Interphangeal Scale“ vorliegt sowie der Fuß-Funktions-Index Deutschland (FFI-D), welcher in unzähligen Sprachen validiert ist und in dieser Studie in deutscher Sprache genutzt wurde.

Alternativ existieren zusätzlich die Fragebögen der europäischen Fuß- und Sprunggelenkgesellschaft (EFAS) oder der Manchester-Oxford Fußfragenbogen (MOXFQ). Aufgrund der detaillierten Befragung wurde der FFI-D für diese Studie ausgewählt.

2. FRAGESTELLUNG / ZIEL DER STUDIE

Ziel dieser klinischen Studie war es, im Rahmen einer prospektiv-randomisierten Studie eine detaillierte vergleichende Beschreibung der offen-chirurgischen (OS) und minimal-invasiven Operationsverfahren (MIS) im Bereich der Kleinzehenchirurgie in Bezug auf Verfahrenssicherheit, Patientenzufriedenheit und auch klinische, radiologische sowie funktionelle Ergebnisse zu erstellen.

Es sollte ein möglichst vollständiges Bild über den klinischen Verlauf der Kleinzehenchirurgie gewonnen werden, um etwaige Ableitungen für den operativen Alltag treffen zu können. Von besonderem klinischem Interesse war die Komplikationsrate, da im heutigen Patienten Klientel zunehmend auch vorerkrankte Menschen der operativen Therapie zugeführt werden.

Der Hintergrund dieser Studie beruht auf den technischen Fortschritten im chirurgischen Fach im Allgemeinen und dem steigenden Patientenanspruch im Besonderen.

Bisherige Analysen der minimal-invasiven Technik im Bereich der Vorfußchirurgie lassen auf ein schonendes und patientenfreundliches Behandlungskonzept bei vergleichbaren funktionellen Ergebnissen hoffen. Dies wollten wir nun im Bereich der Kleinzehenchirurgie evaluieren, um einer zukunftsweisenden Technik eine entsprechende statistische Grundlage zu verschaffen.

In der Folge könnten sich auch medizin-ökonomische Effekte durch kürzere Nachbehandlungsintervalle und Arbeitsunfähigkeiten ergeben, so dass sich bei über 100.000 durchgeführten Kleinzehenkorrekturen jährlich in Deutschland eine klare klinische Fragestellung ergibt.

3. METHODEN

3.1 Studiendesign

Der Antrag auf Beratung für die vorliegende randomisierte klinische Studie wurde ohne Limitierungen für eine Gesamtanzahl von 100 Patienten durch die zuständige Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Universität Rostock angenommen (Registriernummer A 2020-247). Die Untersuchung und Versorgung der Patienten erfolgte monozentrisch in der Abteilung für orthopädische Fuß- und Sprunggelenkchirurgie am Standort Malchin des Dietrich-Bonhoeffer-Klinikum Neubrandenburg. Der Einschluss der Patienten erfolgte aus der angegliederten kassenärztlichen Sprechstunde sowie der entsprechenden präoperativen Vorbereitung im Zeitraum von Dezember 2020 bis März 2023. Nach Indikationsstellung zur operativen Kleinzehenchirurgie und Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien sowie einer umfangreichen Aufklärung und dem schriftlichen Einverständnis der Patienten zur Studienteilnahme erfolgte die Randomisierung und entsprechende Operationsplanung. Die Eingriffe wurden schließlich von insgesamt drei Operateuren der hiesigen Abteilung in analoger Technik durchgeführt.

Nach erneuter klinischer Untersuchung und Erfassung der Basischarakteristika (Name, Alter, Geschlecht, Beschwerdeanamnese mit beschwerdearmer Gehstrecke, Schuhkonflikt und etwaigen Ulzerationen, Art der Deformität und geplante Operation, Komorbiditäten mit Dauertherapie bspw. Kortikosteroiden, Antirheumatika, Antikoagulantien, etwaiger Nikotinabusus, pAVK, Diabetes mellitus Typ II, Voroperationen) sowie Begutachtung der stattgehabten röntgenologischen Bildgebung und objektiver Dokumentierung des Beschwerdebildes mittels FFI-D-Fragenbogen [44] erfolgte die pseudonymisierte Datenablage in einer passwortgeschützten Excel-Datenbank.

Der stationäre Verlauf wurde bezüglich Verfahrenssicherheit mittels Datenblatt (CRF) unter Erfassung sämtlicher Komplikationen (bspw. prolongierte Wundheilung, oberflächliche Infektionen, mechanische Zwischenfälle mit akzidentellem Retentionsdrahtverlust beziehungsweise Drahtverbiegung, Compliance-bedingte Überbelastung, Osteomyelitiden, Zehennekrosen oder gar Zehenverlust) dokumentiert und im Anschluss ebenfalls digital hinterlegt.

Zudem erfolgte die erste von insgesamt zwei direkten Patientenbefragungen bezüglich der persönlichen Zufriedenheit und etwaigen Empfehlung der Operationsmethode per PROM-Bogen im stationären postoperativen Verlauf. Die zweite Befragung dieser Art war für die jeweilige Kontrolluntersuchung nach 18 Monaten geplant. Hiermit sollte in Form von unten genannten Entscheidungsfragen die dezidierte Darlegung des individuellen subjektiven Operationserfolges erfolgen.

Desweiteren erfolgte die radiologische Evaluation der jeweiligen operativen Behandlung (longitudinales und transversales phalangeales Alignment, Arthrodesenschluss, Implantatlage, Korrekturerfolg) verblindet durch den leitenden Oberarzt des Hauses.

Hierbei wurde eine postoperative Abweichung des dorsoplantaren Alignements von unter 10° als achsgerecht, von 10 bis 20° als tolerabel und von über 20° als mangelhaft gewertet. Ebenso galt in der mediolateralen Ausrichtung eine Abweichung von unter 5° als achsgerecht, von 5 bis 10° als tolerabel und von über 10° als mangelhaft. Zudem sollte eine verbliebene Subluxation im Grundgelenk als mangelhaft bewertet werden.

Ein guter Knochenkontakt wurde durch eine unmittelbare Annäherung von mehr als 50% der Osteotomieflächen definiert. Der Kontakt galt als zufriedenstellend, wenn mindestens zwei Kontaktpunkte gegeben waren. War dies nicht der Fall, ergab sich die Bewertung als mangelhafter Kontakt der Fusionspartner.

Im Rahmen des routinemäßigen 1,5-Jahres-Follow-Ups in unserer fußchirurgischen Sprechstunde sollte dann die erneute o. g. klinisch-funktionelle und radiologische Bewertung (Stellung, Konsolidierung, Pseudarthrosen, Rezidivfehlstellung) stattfinden.

Erneut sollten zudem die Zehenstellung und Beschwerdesymptomatik beurteilt werden. Hierbei wurde anhand der klinischen Einschätzung des Studienarztes zwischen vollständiger, asymptomatischer (I) sowie tolerabler, asymptomatischer (II) und unvollständiger symptomatischer Achskorrektur (III) unterschieden.

Zudem wurden der Heilungsverlauf und Langzeitkomplikationen wie Thrombosen, etwaige Rezidive und mögliche Folge-Operationen erfasst.

Zu guter Letzt sollte das funktionelle postoperative Ergebnis abermals mittels des validierten Fuß-Funktions-Indexes-Deutschland vergleichend zwischen minimal-invasiver und offen-chirurgischer Kleinzechenkorrektur erhoben werden.

3.2 Primäres Studienziel

Handelt es sich bei der minimal-invasiven Kleinzehenkorrektur verglichen mit dem offen-chirurgischen Standardvorgehen um eine ebenso verlässliche und komplikationsarme Verfahrensweise?

Es wurde erwartet, dass die minimal-invasive Kleinzehenchirurgie eine vergleichbare Komplikationsrate und Reliabilität wie das offen-chirurgische Therapiekonzept besitzt.

3.3 Sekundäre Studienziele

Lässt sich mit der minimal-invasiven Korrektur der Kleinzehede im Vergleich mit der offen-chirurgischen Therapie eine ebenso hohe Patientenzufriedenheit erreichen?

Lässt sich im Vergleich ein ebenso gutes radiologisches Ergebnis erzielen?

Lässt sich ein gutes funktionelles Ergebnis erzielen?

3.4 Einschlusskriterien

- Alter > 18 Jahre
- schriftliche Einwilligung der Patienten/innen
- solitäre als auch kombinierte Kleinzehendeformitäten im Sinne von Hammerzehen, Klauenzehen und Krallenzehen, wenn vorhanden auch Mallet-Zehen und Curly toes

3.5 Ausschlusskriterien

- Alter < 18 Jahren
- fehlende Einwilligung
- schwerste Kleinzehendeformitäten, welche nicht durch beiderlei Operationsmethoden suffizient zu versorgen sind
- psychische Erkrankungen, welche die Compliance beeinflussen könnten

3.6 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse erfolgte mittels SPSS 29 (IBM Deutschland GmbH, Böblingen). Zunächst wurden die Daten auf ihre Verteilung unter der Annahme einer Normalverteilung geprüft. Dies erfolgte mittels Kolmogorow-Smirnow-Test und Shapiro-Wilk-Test, um die jeweilige Anwendbarkeit statistischer Verfahren nachzuweisen. Bei nicht normalverteilten Variablen wurden nicht parametrische Tests angewandt.

Statistische Signifikanztests für unverbundene, ordinal-skalierte Variablen wurden mittels Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Hingegen wurde bei verbundenen Stichproben der Wilcoxon-Test genutzt. Eine statistische Signifikanz wurde bei $p < 0,05$ angenommen. Konfidenzintervalle wurden in der Auswertung angegeben.

Bei nominal skalierten Daten wurden Kreuztabellen angelegt und der Chi-Quadrat-Test angewandt.

Es wurden Subgruppen anhand des Studienarms sowie bezüglich Geschlechtes, Wundheilungsstörung, Wundinfektion und postoperative mechanische Komplikationen erstellt und dezidiert ausgewertet.

Zur Auswertung des Fuß-Funktions-Index wurden die Einzelwerte in Gänze summiert sowie in den Untergruppen Schmerz und Funktion jeweils addiert (siehe Anhang).

4. ERGEBNISSE

4.1 Patientencharakteristika

Von den 100 eingeschlossenen Patienten konnten 5 Patienten keinerlei Verlaufskontrolle unterzogen werden, da sie entweder verstorben, verzogen oder trotz intensiver Bemühungen nicht erreichbar waren. Von den verbliebenen 95 Patienten waren 70 Individuen weiblich (73,7 %) und 25 Patienten männlich (26,3 %). Dies entspricht keiner Normalverteilung, spiegelt jedoch den klinischen Alltag im hiesigen Zentrum wider.

Von diesen 95 Studienteilnehmern waren 11 Patienten (11,6 %) lediglich einer fernmündlichen bzw. schriftlichen Befragung zur Verlaufskontrolle zugänglich, so dass eine klinische und radiologische Evaluation nicht möglich war.

Eine vollständige Verlaufskontrolle konnte bei 84 Teilnehmern unter den erreichten 95 Patienten durchgeführt werden (88,4 %). Das Alter der Patienten betrug zwischen 30 und 82 Jahren mit einem Mittelwert von 63,2 Jahren bei einer Standardabweichung von 10,2 Jahren. Kohortenunterschiede gab es nicht ($p=0,352$). Das Alter wies folgende Verteilung auf:

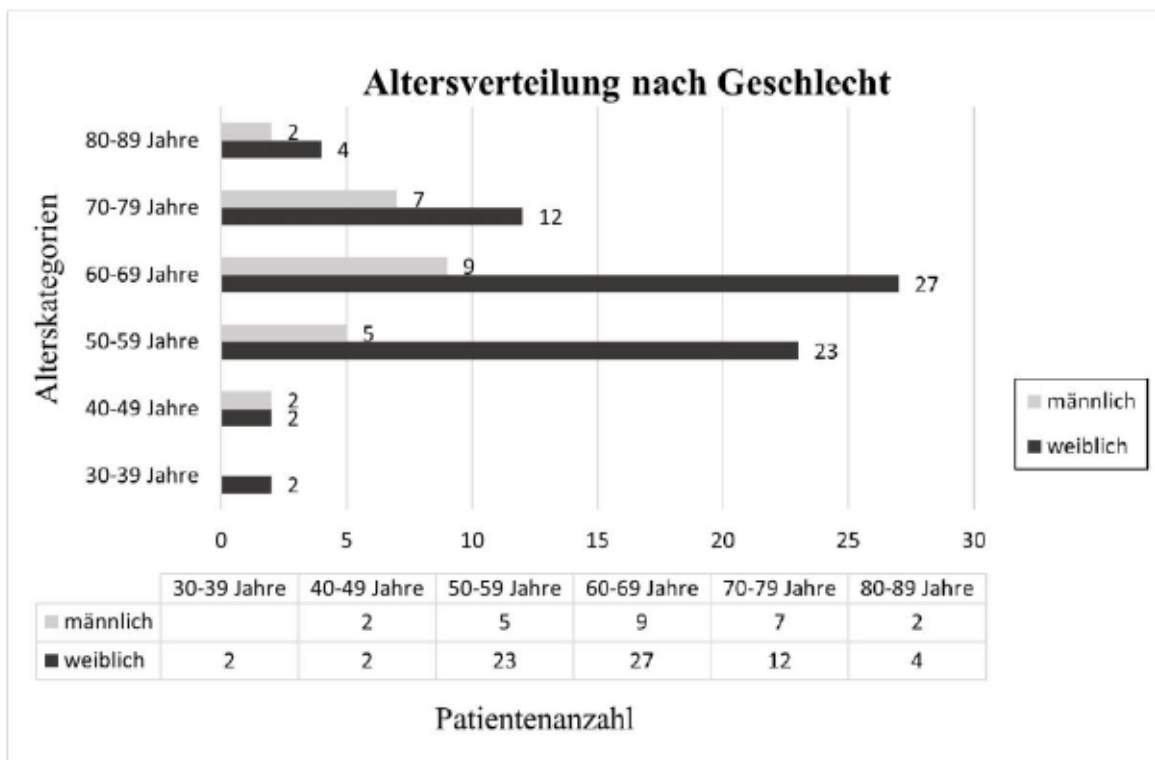


Abb. 8: Altersverteilung nach Geschlecht

Die Körpergröße der Patienten wies eine Spanne von 143 bis 196 cm bei einem Mittelwert von 168,9 cm und einer Standardabweichung von 10,4 cm auf. Auch hier waren keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Studienarmen zu verzeichnen ($p=0,658$).

Bezüglich des Körpergewichts sahen wir insgesamt Werte von 46 kg bis 125 kg bei einem Mittelwert von 78,6 kg (Standardabweichung 15,8 kg), wobei ebenfalls keine Gruppenunterschiede bestanden ($p=0,846$).

Für die Parameter Alter, Körpergröße und Gewicht konnte eine Normalverteilung nachgewiesen werden (p -Wert jeweils $> 0,05$).

Insgesamt wurden bei 95 Patienten 131 Kleinzehe operativ korrigiert. Die Verteilung der Kleinzehendeformitäten war mit einem p -Wert von 0,169 in beiden Studiengruppen vergleichbar. In der folgenden Tabelle sind die einzelnen Deformitäten für das gesamte Patientenkollektiv quantitativ erfasst:

Tabelle 7: Übersicht der versorgten Kleinzehendeformitäten

Kleinzehendeformitäten	Anzahl (Anteil in %)	Summe der Kleinzehe
Hammerzehe Digitus pedis II links	20 (21,1)	20
Hammerzehe Digitus pedis II rechts	31 (32,6)	31
Hammerzehe Digitus pedis III links	1 (1,1)	1
Hammerzehe Digitus pedis III rechts	2 (2,1)	2
Hammerzehe Digitus pedis V links	1 (1,1)	1
Hammerzehe Digitus pedis II und III links	4 (4,2)	8
Hammerzehe Digitus pedis II und III rechts	12 (12,6)	24
Hammerzehe Digitus pedis II und IV rechts	1 (1,1)	2
Hammerzehe Digitus pedis II bis IV links	1 (1,1)	3
Hammerzehe Digitus pedis II bis IV rechts	2 (2,1)	6
Hammerzehe Digitus pedis II bis V links	1 (1,1)	4
Krallenzehe Digitus pedis II links	7 (7,4)	7
Krallenzehe Digitus pedis II rechts	2 (2,1)	2
Krallenzehe Digitus pedis II und III links	4 (4,2)	8
Krallenzehe Digitus pedis II und III rechts	4 (4,2)	8
Mallet toes Digitus pedis II und III rechts	2 (2,1)	4
davon Crossover Toes	14 (14,8)	14

Bei 78 der operierten 95 Patienten (82,1 %) wurden die jeweiligen Fehlstellungen der Kleinzehen radiologisch als rein uniplanare Deformität im Sinne einer Flexions- oder Extensionsfehlstellung der betroffenen Gelenkebene gewertet.

Bei 14 Patienten der Studienkohorte wurde zusätzlich eine transversale Achsabweichung im Sinne einer Lateral- oder Medialdeviation festgestellt (14,7 %). Diese Zehen könnten demnach abweichend von der obenstehenden Deskription als Crossover Toe bezeichnet werden. Zum besseren Verständnis wurde jedoch die dorsoplantare Ausrichtung der jeweiligen Zehe als wegweisende Deformität ausgewählt.

Drei Patienten wiesen zudem eine manifeste Luxation der betroffenen Zehen im Grundgelenk auf (3,2 %). Curly Toes wurden im Rahmen dieser Studie nicht versorgt. Bei lediglich 20 Patienten lag eine isolierte Deformität der Kleinzehen vor (21,1 %). Die übrigen 75 Patienten erhielten zusätzlich Korrekturosteotomien oder Arthrodesen im Bereich des ersten bzw. fünften Strahls, aber teils auch komplexere Mittel- und Rückfußkorrekturen im Sinne von Fersenbeinumstellungen, Sehneneingriffen und Lisfranc-Arthrodesen.

Bei 4 von 95 Patienten hatte zuvor bereits ein operativer Eingriff im Bereich der zu versorgenden Kleinzehenfehlstellungen in Form von Weil-Osteotomien und Grundgelenkmodellierungen stattgefunden (4,2 %). Mit Ausnahme von 4 Patienten klagte die große Mehrheit der Studienteilnehmer über einen mechanischen Schuhkonflikt durch die bestehende Kleinzehenabweichung (95,8 %).

Bei 28 Patienten war es in der Vorgeschichte sogar zu entsprechenden Druckulzerationen apikal am Endglied oder dorsalseitig über dem PIP-Gelenk gekommen (29,5 %). Von den oben genannten 95 Patienten erhielten 47 eine minimal-invasive Operation (49,5 %) und 48 Teilnehmer eine offen-chirurgische Versorgung (50,5 %). Minimal-invasiv wurden 36 Frauen (37,9 %) und 11 Männer (11,6 %) versorgt. Hierbei wiesen Frauen in der MIS-Gruppe eine signifikant kürzere Krankenhausverweildauer gegenüber den Männern auf ($p=0,001$).

Die offen-chirurgische Behandlung erhielten 34 Frauen (35,8 %) und 14 Männer (14,7 %).

Die durchschnittliche Krankenhausverweildauer der gesamten Patientenkohorte betrug im Mittelwert 3,28 Tage mit einer Standardabweichung von 1,32 Tagen (Median

3,00 Tage bei Standardabweichung von 1,20 Tagen). Diesbezüglich unterschieden sich die Gruppen statistisch signifikant ($p=0,001$), da die Patienten der minimal-invasiven Gruppe im Mittelwert 2,97 Tage und die offen-chirurgisch behandelten Patienten im Mittelwert 3,69 Tage stationär behandelt wurden.

Das Kontrollintervall vom Operationstag bis zur Reevaluation betrug in der MIS-Gruppe durchschnittlich 475 Tage (Standardabweichung 179 Tage) und in der offen-chirurgischen Gruppe 536 Tage (Standardabweichung 154 Tage). Ein Gruppenunterschied bestand nicht ($p=0,272$).

4.2 Verfahrenssicherheit

Während der 95 Eingriffe kam es intraoperativ in keiner der beiden Kohorten zu wegweisenden Komplikationen.

Die postoperative Einschätzung der erfahrenen behandelnden Ärzte kam bezüglich der Compliance der Patienten in 80 Fällen zu einem positiven Ergebnis (84,2 %) und in 15 Fällen wurde dieses Prädikat, durch eine offensichtliche Missachtung des postoperativen Behandlungsregimes bzw. die Unfähigkeit dieses sicher umzusetzen, entzogen (15,8 %). In der OS-Gruppe waren 8 Patienten betroffen und in der MIS-Gruppe 7 Individuen, so dass die Gruppen vergleichbar blieben ($p=0,813$).

Im Rahmen der postoperativen Behandlung wurden bei 3 der 95 Patienten verbogene Kirschnerdrähte (3,2 %) und in 4 Fällen luxierte Kirschnerdrähte (4,2 %) dokumentiert. Dabei befanden sich alle 3 Fälle mit verbogenen Drähten in der Gruppe der offenen Chirurgie und alle 4 Fälle mit luxierten Drähten in der MIS-Gruppe, was einen signifikanten Unterschied darstellte ($p=0,030$). Es konnte eine statistisch signifikante Korrelation mit der jeweiligen Incompliance der Patienten nachgewiesen werden ($p=0,01$).

Die übrigen 88 Patienten erlitten keine mechanischen Komplikationen bezüglich der einliegenden Fixationsdrähte (92,6%). Diese Kohorte wies zudem im Verlauf für den minimal-invasiven Studienarm eine signifikant kürzere Krankenhausverweildauer auf ($p=0,004$). Bei 4 der 7 inkomplianten minimal-invasiv versorgten Patienten erfolgte daher ein akzidenteller oder vorzeitiger ärztlicher Drahtzug (4,2 % der Gesamtkohorte).

In einem Fall in der offen-chirurgischen Kohorte kam es postoperativ zu einer Ischämie der korrigierten Kleinzehe, sodass eine manuelle Reposition der traktierten Zehe auf

dem Kirschnerdraht bei anliegender Regionalanästhesie nötig wurde (1,1 %). Zehennekrosen oder gar eine operative Revision mit Verlust einer Kleinzehe mussten erfreulicherweise nicht dokumentiert werden.

In 8 Fällen sahen wir eine prolongierte Wundheilung mit vermehrter seröser Sekretion (8,4 %). Davon waren 7 der 8 Fälle in der Gruppe der offenen Chirurgie zu finden, so dass sich ein statistisch signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe der minimal-invasiven Chirurgie ergab ($p=0,029$).

Konsekutiv sahen wir bei Patienten ohne postoperative Wundheilungsstörung eine signifikant kürzere Aufenthaltsdauer im Krankenhaus in der minimal-invasiven Gruppe ($p=0,001$). Bei 2 der auffälligen Patienten war eine mehrfache poststationäre Wiedervorstellung mit lokalchirurgischer Wundbehandlung notwendig (2,1 %). Bei 5 Patienten kam es im weiteren Verlauf zu einer manifesten Wundinfektion (5,3 %), welche in 4 Fällen durch Antibiotikagaben zur Ausheilung gebracht werden konnten. Eine postoperative Wundentzündung kam ohne antimikrobielle Therapie zur Ruhe. Hier ergab sich gegenüber der MIS-Gruppe ein deutlich statistisch signifikanter Gruppenunterschied mit einem p-Wert von 0,023. Tiefe Knocheninfekte blieben erfreulicherweise aus. Wiederum sahen wir unter dem vollständigen Ausbleiben postoperativer Wundinfektionen in der MIS-Gruppe ebenfalls eine signifikant verkürzte Krankenhausverweildauer ($p=0,001$).

Bei insgesamt 6 Patienten wurden im weiteren Verlauf neuropathische Beschwerden verzeichnet (6,3 %), wobei diese auf beide Untersuchungsgruppen gleich verteilt waren ($p=0,979$). Neben anhaltenden Hypästhesien der Kleinzehen und unklaren lokalen Schmerzphänomenen entwickelte eine Patientin eine Morton-Neuralgie und eine weitere Patientin vermutlich ein komplexes regionales Schmerzsyndrom (CRPS), welches stationär durch eine Schmerzkatheteranlage mit intensiver Physiotherapie behandelt werden musste. Zudem erhielten insgesamt 4 der 6 Patienten eine rein lokale Infiltrationsbehandlung (4,21 %).

Bei 4 Patienten fiel in der Langzeitverlaufskontrolle eine schmerzhaft verminderte Beweglichkeit des jeweiligen Grundgelenkes im Sinne einer Arthrofibrose auf (4,21 %), wobei jeder Studienarm 2 Patienten aufbot und daher keine signifikante Differenz bestand ($p=0,983$). Diesen Patienten wurde ein Rezept zur manualtherapeutischen Mobilisation ausgeschrieben.

Weitere 2 Patienten boten in der offen-chirurgischen Kohorte klinisch Narbenstrikturen bzw. Keloide (2,1 %), welche durch eigenständige Massagebehandlungen mit fetthaltigen Salben adressiert wurden. Komplikationen dieser Art waren in der perkutan korrigierten Gruppe nicht nachweisbar ($p=0,167$). Thromboembolische Komplikationen wurden im Rahmen der Untersuchung nicht beobachtet. Zum Kontrollzeitpunkt hatte ein Studienteilnehmer (MIS) bereits eine Revisionsoperation erhalten und eine weitere Revision (OS) war bei unzureichender Stellungskorrektur der Kleinzehe geplant ($p=0,368$). Zudem wurde aufgrund eines Rezidivs bei je einem Patient in beiden Studienarmen die Indikation zur Revision gesehen ($p=0,922$).

Die folgende Tabelle soll einen Überblick über die stattgehabten klinischen Komplikationen der Kleinzehenkorrekturen dieser Studie geben. Auf mögliche radiologische Komplikationen soll im Abschnitt 4.6 eingegangen werden.

Tabelle 8: klinische Komplikationen der Kleinzehenchirurgie

klinische Komplikationen	Zuordnung Dindo und Clavien	offen-chirurgisch (n=48)	minimal-invasiv (n=47)	p-Wert
intraoperativ	I - III	0	0	*
Incompliance	I, III	8	7	0,813
Drahtkomplikationsart	III	3	4	<i>0,030</i>
Drahtverbiegung	III	3	0	0,082
Drahtluxation	III	0	4	<i>0,039</i>
Zehenschämie	II, III	1	0	0,320
Zehennekrose	II, III	0	0	*
Zehenverlust	II, III	0	0	*
Wundheilungsstörung	I - III	7	1	<i>0,029</i>
Wundinfekt	I - III	5	0	<i>0,023</i>
Osteomyelitis	I - III	0	0	*
neuropathische Schmerzen	I - III	3	3	0,979
Arthrofibrose MTP-Gelenk	I - III	2	2	0,983
Narbenstriktur/Keloid	I - III	2	0	0,167
Thromboembolie	I - V	0	0	*
Revision bei Rezidiv erfolgt	III	1	0	0,368
Revision bei Rezidiv geplant	III	0	1	0,368
weitere Revisionsindikation	III	1	1	0,922

* nicht berechenbar, kursiv: statistisch signifikant bei einem p-Wert < 0,05

4.3 Patientenzufriedenheit

4.3.1 Stationäre Erfassung der subjektiven Zufriedenheit der Patienten

Während der stationären postoperativen Befragung gaben 93 der 95 operierten Patienten an, mit ihrer Operation sowie der Stellungskorrektur der Kleinzehen zufrieden zu sein (97,9 %). Lediglich zwei Patienten waren unentschlossen (2,1 %), wobei jeweils ein Patient aus dem minimal-invasiven und ein Patient aus den offen-chirurgischen Studienarm stammte ($p=0,998$). Auch auf die Frage, ob die Patienten eine Versorgung in der gleichen Art und Weise noch einmal vornehmen lassen würden, ergab sich das übereinstimmende Ergebnis.

Eine Weiterempfehlung ihrer jeweiligen Operationsmethoden an Mitpatienten erteilten 92 von 95 Patienten (96,84 %), wobei in der minimal-invasiven Gruppe weiterhin einmalig die Auswahl „unentschlossen“ getroffen wurde. In der offen-chirurgischen Kohorte wurde in 46 von 48 Fällen die Weiterempfehlung am Mitpatienten ausgesprochen. Es gab ein „unentschlossen“ und eine Entscheidung gegen eine Weiterempfehlung. Auch hier ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Operationstechniken ($p=0,610$).

Die persönliche Weiterempfehlung der eigenen Operationsmethode an Familienmitglieder fiel in gleicher Art und Weise aus und ergab keine Gruppenunterschiede ($p=0,610$).

Tabelle 9: subjektive Ergebnisse postoperativ unter stationären Bedingungen

Befragung zur	offen-chirurgisch (n=48)			minimal-invasiv (n=47)			p-Wert
	ja	unentschlossen	nein	ja	unentschlossen	nein	
Zufriedenheit	47	1	0	46	1	0	0,988
Wiederholung	47	1	0	46	1	0	0,988
Empfehlung Mitpatienten	46	1	1	46	1	0	0,610
Empfehlung Familie	46	1	1	46	1	0	0,610

4.3.2 Erfassung der subjektiven Zufriedenheit der Patienten im Langzeitintervall

Im Rahmen der Verlaufskontrollen nach ca. 18 Monaten gaben 84 von 95 Patienten eine vollständige Zufriedenheit mit ihrer Operation sowie der jeweiligen Kleinzehenkorrektur an (88,4 %). Weitere 4 Patienten waren unentschlossen (4,2 %), wobei je 2 Patienten die offen-chirurgische und 2 Patienten die minimal-invasive Untersuchungsgruppe vertraten (je 2,1 %). Lediglich 7 Patienten waren nicht mit dem Ergebnis zufrieden (7,4 %). 4 Patienten waren aus der MIS-Gruppe (4,2 %) und 3 Patienten aus der Gruppe der offenen Chirurgie (3,2 %). Diesbezüglich waren keine signifikanten Gruppenunterschiede zu verzeichnen ($p=0,914$).

82 der 95 Patienten würden nach eineinhalb Jahren die Operation in gleicher Weise nochmals durchführen lassen (86,3 %). Drei Patienten gaben auf diese Frage an, unentschlossen zu sein (3,2 %), wobei hiervon ein Patient mittels „Schlüsselloch-Technik“ versorgt und 2 Patienten offen-chirurgisch versorgt wurden (1,1 % vs. 2,1 %). Insgesamt lehnten 10 Patienten eine erneute operative Versorgung mit der stattgehabten Technik bei etwaigem erneutem Bedarf ab (10,5 %).

6 Patienten stammten aus der Studiengruppe der offenen Chirurgie und 4 Patienten aus der minimal-invasiven Teilnehmergruppe (4,2 % vs. 6,3 %). Insgesamt ergab sich erneut keine statistisch signifikante Abweichung in der Analyse beider Ergebnisgruppen ($p=0,680$).

Eine Weiterempfehlung an Mitpatienten wurde nach dem Verlaufsintervall von 83 der 95 befragten Patienten ausgesprochen (87,4 %). Erneut zeigten sich drei Patienten unentschlossen (3,2 %), von denen, analog zur Vorfrage, zwei Patienten offen operiert und ein Patient perkutan versorgt wurde (2,1 % vs. 1,1 %).

Neun Patienten entschieden sich gegen eine Empfehlung ihrer Operationsmethode an ihre Mitpatienten (9,5 %), 4 aus der MIS-Gruppe und 5 aus der offen-chirurgischen Patientengruppe (4,2 % vs. 5,3 %). Mit einem p-Wert von 0,800 wurde diesbezüglich ein signifikanter Unterschied zwischen den Kohorten ausgeschlossen.

Eine exakt übereinstimmende Bewertung war für die Weiterempfehlung der jeweiligen Operationsmethode an Familienangehörige zu verzeichnen ($p=0,800$).

Tabelle 10: subjektive Ergebnisse im Langzeitintervall

Befragung zur	offen-chirurgisch (n=48)			minimal-invasiv (n=47)			p-Wert
	ja	unentschlossen	nein	ja	unentschlossen	nein	
Zufriedenheit	43	2	3	41	2	4	0,914
Wiederholung	40	2	6	42	1	4	0,680
Empfehlung Mitpatienten	41	2	5	42	1	4	0,800
Empfehlung Familie	41	2	5	42	1	4	0,800

4.4 Funktionelle Ergebnisse

4.4.1 Schmerzhaftige Tage innerhalb der letzten Woche vor Untersuchung

Die Anzahl der Tage mit Fußschmerzen innerhalb der letzten 7 Tage wurden zum jeweiligen Untersuchungstag dokumentiert. Im gesamten Patientenkollektiv (n=95) gaben die Patienten präoperativ im Mittelwert 4,7 Schmerztage bezüglich der vergangenen 7 Tage vor der Untersuchung an. In der Follow-up-Befragung nach ca. 18 Monaten konnte dieser Wert auf 1,2 Schmerztage signifikant gesenkt werden ($p < 0,001$), so dass von einer deutlichen Beschwerdelinderung durch die Gesamtheit der angewandten Techniken der Kleinzehenchirurgie gesprochen werden kann (Abbildung 9).

In der MIS-Gruppe gaben die Patienten präoperativ einen Mittelwert von 4,5 Schmerztagen in Bezug auf die vergangenen 7 Tage an. In der Gruppe der offenen Chirurgie lag der Mittelwert bei 4,9 Schmerztagen. Demnach bestand vor der Intervention kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Studienarmen ($p = 0,296$). In der minimal-invasiven Kohorte sank der Mittelwert signifikant auf 1,0 Schmerztage von 7 möglichen Tagen ($p < 0,001$).

Auch in der Gruppe der offen operierten Patienten sank der Mittelwert der fußschmerzhaften Tage innerhalb der vergangenen 7 Tage signifikant auf 1,5 ($p < 0,001$).

Im Gruppenvergleich ergab sich bei einem p-Wert von 0,409 kein wegweisender Unterschied zwischen offener und geschlossener Operationstechnik. Zugehörige Daten werden in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 11: fußschmerzhafte Tage innerhalb der vergangenen Woche

Summe	minimal-invasiv			offen-chirurgisch			p-Wert	Gesamtkollektiv (n=95)		
	MW	SD	KI	MW	SD	KI		MW	SD	KI
Schmerztage präoperativ	4,5	2,5	3,7 - 5,3	4,9	2,5	4,1 - 5,6	0,296	4,7	2,5	4,1 - 5,3
Schmerztage postoperativ	1,0	2,1	0,3 - 1,7	1,5	2,7	0,6 - 2,3	0,409	1,2	2,4	0,7 - 1,8

MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung, KI: Konfidenzintervall

Da keinerlei signifikante Gruppenunterschiede festzustellen waren, wurde folglich der therapeutische Nutzen im Sinne der quantitativen Schmerzlinderung für das gesamte Patientengut graphisch dargestellt:

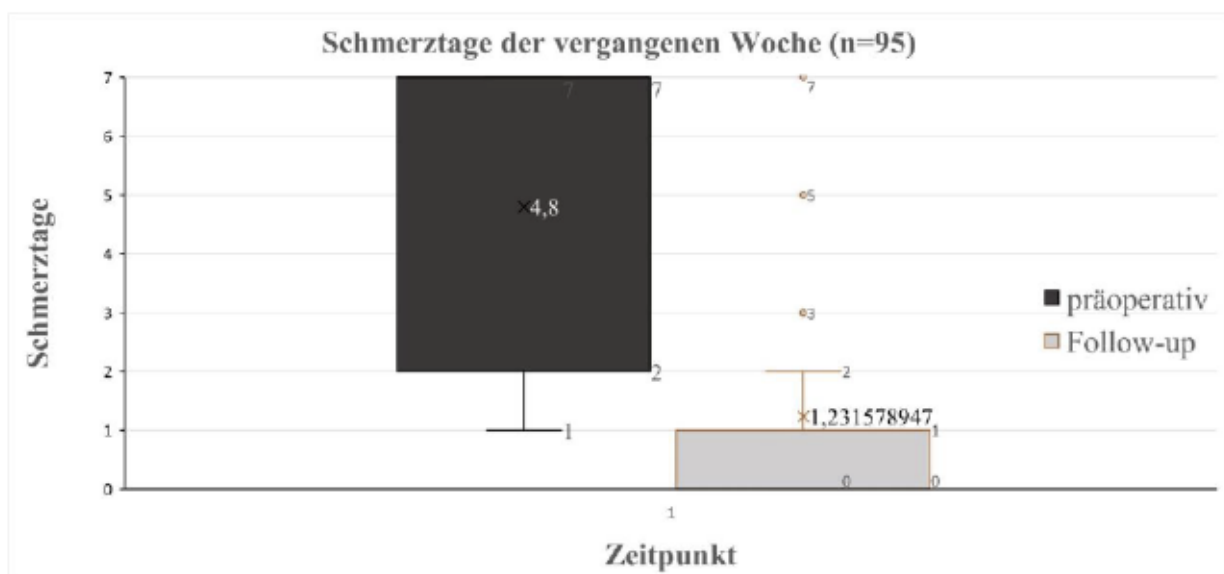


Abb. 9: Schmerztage aller Patienten

4.4.2 Fuß-Funktions-Index Deutschland

Die funktionellen Ergebnisse wurden durch die Bestimmung und den Vergleich des prä- und postoperativen Fuß-Funktions-Index Deutschland (FFI-D) ermittelt.

Es erfolgte die Aufsummierung der Einzelwerte des Schmerzblockes (8 Fragen) mit dem Funktionsblock (10 Fragen) zu beiden Untersuchungszeitpunkten (maximal 162 Punkte), aber auch die eigenständige Darstellung des separaten Schmerzblockes (maximal 72 Punkte) sowie des Funktionsblocks (maximal 90 Punkte).

Die Summe der präoperativen FFI-Werte betrug in der MIS-Gruppe im Mittelwert 83,4 und in der Gruppe mit klassischem OP-Zugang 86,1 ($p=0,584$).

Postoperativ konnten die entsprechenden Mittelwerte auf 28,9 bzw. 37,9 gesenkt werden, ohne dabei signifikante Gruppenunterschiede erkennen zu lassen ($p=0,460$).

Tabelle 12: Gesamtscore FFI-D nach Operationsmethode

Summe	minimal-invasiv			offen-chirurgisch			p-Wert
	MW	SD	KI	MW	SD	KI	
FFI-D gesamt präoperativ	83,4	25,0	74,9 - 91,9	86,1	27,7	77,1 - 95,1	0,584
FFI-D gesamt postoperativ	28,9	12,5	24,7 - 33,1	37,9	26,4	29,4 - 46,40	0,460

MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung, KI: Konfidenzintervall

Es wurde demnach in beiden Gruppen eine deutliche Schmerzlinderung und Besserung der Funktionalität erreicht ($p=0,001$). Dies wird in Abbildung 10 graphisch dargestellt:

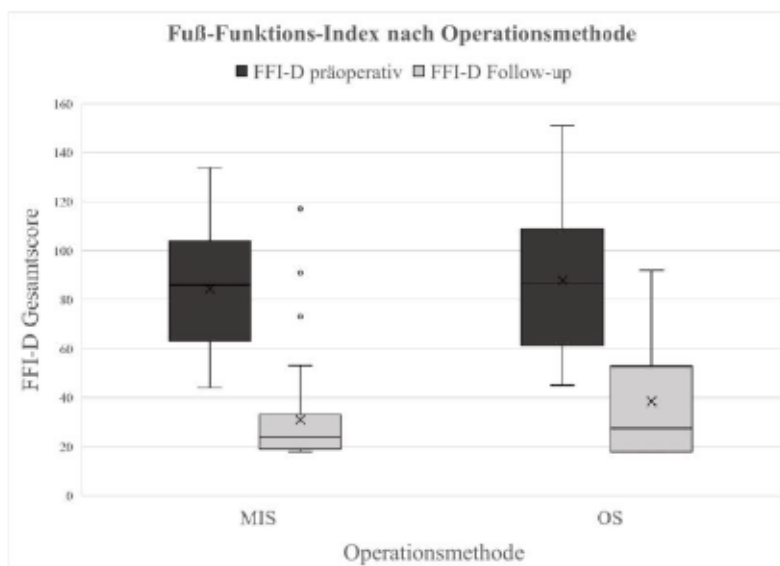


Abb. 10: Gesamtscore des FFI-D nach Operationsmethode

Ein vergleichbares Bild zeigt sich in der Darstellung des Schmerzempfindens. Hierbei gab es in der MIS-Gruppe einen präoperativen Schmerz-Mittelwert von 30,4 von maximal 72 Punkten und in der Kontrollgruppe einen vergleichbaren Mittelwert von 31,9 ($p=0,445$). Die Werte konnten in der Langzeitverlaufskontrolle signifikant ($p=0,001$) auf 12,1 in der minimal-invasiven und 15,6 in der offen-chirurgischen Teilnehmerkohorte gesenkt werden (Abbildung 11), ohne dass nachweisbare Unterschiede zwischen den Subgruppen bestanden ($p=0,632$).

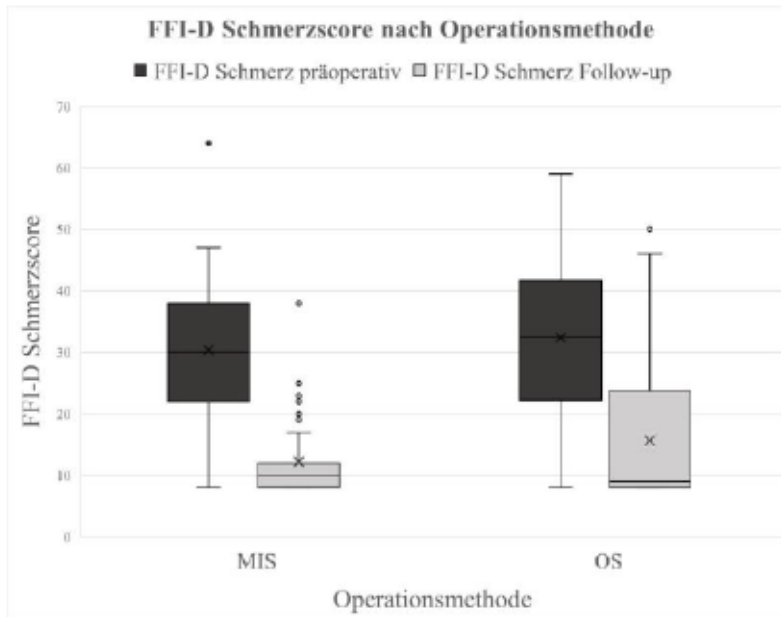


Abb. 11: FFI-D Schmerzscore nach Operationsmethode

Auch die präoperativen rein funktionellen Mittelwerte waren mit 46,1 von maximal 90 Punkten in der minimal-invasiven Operationsgruppe und 46,6 in der Gruppe der klassischen offenen Chirurgie sehr ähnlich ($p=0,800$).

Im Verlauf konnten diese Werte in beiden Studienarmen signifikant ($p=0,001$) auf 16,9 bzw. 22,3 Schmerzpunkte gesenkt werden, ohne dass es signifikante Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Kohorten gab ($p=0,424$). Graphisch stellte sich dies wie folgt dar:

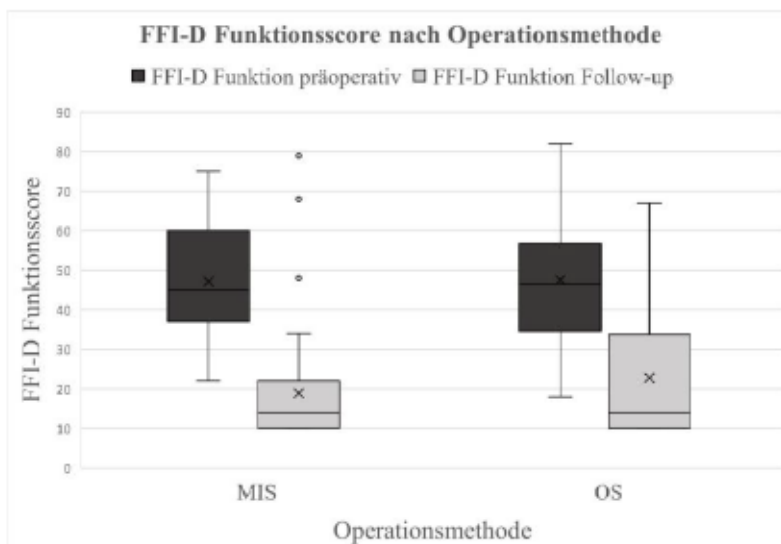


Abb. 12: FFI-D Funktionsscore nach Operationsmethode

Eine Übersicht der statistischen Daten des Schmerz- sowie Funktionsscores des FFI-D im klinischen Verlauf 18 Monate postoperativ findet sich in folgender Tabelle:

Tabelle 13: Übersicht FFI-D vor und nach Operation im Gruppenvergleich MIS versus OS

Summe	minimal-invasiv			offen-chirurgisch			p-Wert
	MW	SD	KI	MW	SD	KI	
FFI-Schmerz präoperativ	30,4	11,0	26,7 - 34,2	31,9	13,1	27,6 - 36,2	0,455
FFI-Schmerz postoperativ	12,1	5,2	10,4 - 13,9	15,6	11,1	12,0 - 19,2	0,632
FFI-Funktion präoperativ	46,1	15,2	40,9 - 45,8	46,6	14,2	42,0 - 51,2	0,800
FFI-Funktion postoperativ	16,9	8,4	14,0 - 19,7	22,3	16,3	17,0 - 27,6	0,424

4.5 Klinische Ergebnisse und Stellung der Kleinzehen

Einer klinischen Kontrolle konnten im Langzeitintervall 84 Patienten unterzogen werden, wobei 40 Probanden aus der minimal-invasiv versorgten Gruppe und 44 Patienten aus der offen-chirurgischen Gruppe stammten. In der MIS-Gruppe wurden anhand der o.g. klinischen Evaluation (S. 37) 30 Korrekturen als vollständig (75,0 %) und 8 Ergebnisse als zufriedenstellend (20,0 %) bewertet. Zwei Patienten boten unzureichende und weiterhin symptomatische Kleinzehenkorrekturen (5,0 %).

In der offen-chirurgischen Gruppe wurden ebenfalls 30 vollständige Korrekturen (68,2 %) und 11 zufriedenstellende Ergebnisse (25,0 %) verzeichnet. Eine weitere Patientin wies eine vollständige Korrektur eines Strahls und eine zufriedenstellende Stellung eines weiteren Strahls auf (2,3 %). Auch in diesem Studienarm zeigten zwei Patienten unzureichende Stellungsergebnisse (4,5 %). Bezüglich der klinischen Stellung der Kleinzehen erbrachten beide Operationstechniken vergleichbare Ergebnisse ($p=0,833$).

Insgesamt konnten demnach bei 80 von 84 Patienten gute bis sehr gute Ergebnisse bezüglich der klinischen Stellung (95,2 %) erreicht werden. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die klinischen Ergebnisse.

Tabelle 14: klinische Korrektur der Kleinzehen

klinische Korrektur	minimal-invasiv (n=40)			offen-chirurgisch (n=44)			p-Wert
	vollständig	zufriedenstellend	unzureichend	vollständig	zufriedenstellend	unzureichend	
	30	8	2	30 (1)	11 (1)	2	0,833

Der jeweilige klinische Untersucher sah demnach insgesamt in 4 von 84 Fällen bei o. g. mangelnder Stellung einen Revisionbedarf.

88 von 95 Patienten berichteten in der klinischen bzw. fernmündlichen Verlaufskontrolle von einer vollständigen Auflösung des initialen Schuhkonfliktes (92,6 %), wobei 7 Personen weiterhin eine mechanische Irritation im Schuhwerk anmerkten (7,4 %).

3 Fälle entfielen auf die MIS-Gruppe und 4 Fälle auf die OS-Gruppe, wobei kein signifikanter Gruppenunterschied nachweisbar war ($p=0,716$).

4.6 Radiologische Ergebnisse

4.6.1 Stationäre postoperative Röntgenverlaufskontrolle

In der postoperativen Röntgenkontrolle der Patienten wurden keinerlei statistisch signifikante Gruppenunterschiede detektiert. Wir sahen in lediglich 2 Fällen einen Repositionsverlust bezogen auf die ursprünglich intraoperativ festgelegte Stellung der Kleinzehen (2,1 %). Das gewünschte dorsoplantare Alignment konnte in einem Fall nicht optimal erreicht werden (1,1 %), wohingegen die mediolaterale Ausrichtung in 8 Fällen als optimierbar eingeschätzt wurde (8,4 %). Als manifeste Residualfehlstellungen wurden letztlich 4 Fälle durch den evaluierenden Arzt gewertet, wobei dies nicht mit einer subjektiven Unzufriedenheit der Patienten einherging.

Der knöcherne Kontakt der Fusionspartner in den Osteotomie- bzw. Arthrodesenbereichen wurde in 88 Fällen als gut (92,6 %) und in 7 Fällen als zufriedenstellend (7,4 %) gewertet. In zwei Fällen ergab das postoperative Röntgenbild keine suffiziente intraossäre Materiallage (2,1 %), wobei klinisch eine ausreichende weichteilige Fixation der betroffenen Zehe zu verzeichnen war. Es folgt die entsprechende Übersicht:

Tabelle 15: postoperative radiologische Evaluation

	minimal-invasiv (n=40)	offen-chirurgisch (n=44)	p-Wert
Repositionsverlust	2	0	0,140
mangelndes dp-Alignment	1	0	0,299
mangelndes ml-Alignment	5	3	0,403
manifeste Residualfehlstellung	2	2	0,593
mangelnder Knochenkontakt	0	0	0,630
extraossäre Drahtlage	2	0	0,140

4.6.2 Langzeitröntgenverlaufskontrolle

Die Röntgenaufnahmen im Rahmen der Follow-up-Untersuchungen ergaben bei 62 von 84 Patienten eine achsgerechte physiologische Stellung (73,8 %).

Bei 18 Patienten wurde die Stellung der Glieder als zufriedenstellend (21,4 %) und bei weiteren 4 Patienten als unzureichend (4,8 %) gewertet.

Zudem sahen wir bei einer Patientin mit zwei korrigierten Strahlen eine vollständig physiologische Stellung und eine zufriedenstellende Achsausrichtung (1,1 %), so dass insgesamt 80 von 84 Patienten in der Langzeitröntgenkontrolle ein sehr gutes bis gutes Stellungsergebnis aufwiesen (95,2 %).

Signifikante Unterschiede bezüglich der erreichten Achskorrekturen bestanden in den Vergleichskohorten nicht ($p=0,145$).

Die Evaluation der dorsoplantaren als auch mediolateralen Ausrichtungen im Vergleich der operativen Methoden ist in Tabelle 16 im Detail dargestellt.

76 von 84 Patienten wiesen eine vollständige knöcherne Konsolidierung auf (90,5 %).

Ein Patient der OS-Gruppe wies eine partielle Konsolidierung auf (1,2 %), ein weiterer Patient dieser Kohorte bot bei stattgehabtem Mehrstrahleneingriff jeweils eine vollständige knöcherne Konsolidierung und eine Pseudarthrose (1,2 %) und 6 Patienten der offen-chirurgischen Gruppe zeigten eine manifeste Pseudarthrosenbildung in der Röntgenverlaufskontrolle (7,1 %).

Auffallend ist hier, dass sämtliche minimal-invasive Knochenkorrekturen eine vollständige Konsolidierung aufwiesen ($p=0,0029$) und die Pseudarthrosenbildung ausschließlich in der offen-chirurgischen Gruppe zu beklagen war ($p=0,0013$).

Sämtliche radiologischen Langzeitergebnisse sind in der folgenden Tabelle zur Übersicht aufgeführt:

Tabelle 16: radiologische Evaluation im Follow-up

	minimal-invasiv (n=40)	offen-chirurgisch (n=44)	p-Wert
unzureichende Achskorrektur	2	2	0,145
gutes dp-Alignment	35	36	
tolerables dp-Alignment	3	6	
unzureichendes dp-Alignment	2	2	
gutes ml-Alignment	29	33	
Lateraldeviation	8	8	
Medial- und Lateraldeviation	0	1	
Medialdeviation	3	2	
mangelndes ml-Alignment	2	2	
volle knöcherner Konsolidierung	40	36	0,029
partielle Konsolidierung	0	2	0,029
manifeste Pseudarthrose	0	6	0,013

kursiv: statistisch signifikant bei $p < 0,05$

4.7 Kohortenergebnisse der isolierten Kleinzeheneingriffe (N = 20)

4.7.1 Patientencharakteristika (N = 20)

Innerhalb der o.g. Patientengruppe (N=95), in welcher die Patienten Kleinzehenkorrekturen, aber auch weiterführende Prozeduren im Bereich des Hallux, des Mittel- oder Rückfußes erhielten, gab es eine Subgruppe von 20 Patienten, die ausnahmslos nur an den betroffenen Kleinzehen chirurgisch behandelt wurde. Diese Gruppe sollte auf signifikante Unterschiede zur Vergleichsgruppe N75 mit Patienten, die zusätzliche fußchirurgische Maßnahmen erhielten, untersucht werden. Aber auch innerhalb der Kohorte der solitären Kleinzehenoperationen sollten die minimal-invasiv und offen-chirurgischen versorgten Patienten verglichen werden.

Von diesen 20 Patienten wurden 13 Studienteilnehmer minimal-invasiv versorgt (7 Frauen und 6 Männer) und 7 Personen wurden offen chirurgisch therapiert (3 Frauen und 4 Männer). Die Subgruppen unterschieden sich bezüglich der Geschlechterverteilung nicht wegweisend ($p=0,693$). Insgesamt waren in der Gruppe der alleinstehenden Kleinzehenkorrekturen jedoch 10 Männer und 10 Frauen vertreten, was einen signifikant höheren Männeranteil ($p=0,007$) als in der

Vergleichsgruppe der 75 Patienten mit zusätzlichen Eingriffen darstellt (60 Frauen und 15 Männer).

Auch die jeweilige Art der Deformität wies zwischen den Hauptgruppen (N20 versus N75) und in den Subgruppen (MIS versus OS) keine signifikante Ungleichheit auf ($p=0,502$ bzw. $p=0,202$). Keine der einzeln versorgten Kleinzehe hatte zuvor eine operative Korrektur erhalten, wohingegen 4 von 75 Patienten in der Vergleichsgruppe voroperiert waren ($p=0,774$).

Mechanische Schuhkonflikte traten in der Gruppe der solitären Kleinzeheoperationen in 19 von 20 Fällen und in der Vergleichsgruppe in 72 von 75 Fällen auf ($p=0,843$), wobei ein mechanischer Konflikt innerhalb der N20-Kohorte in beiden Subgruppen gleichmäßig häufig vertreten war ($p=0,452$). In der Gruppe der minimal-invasiven Chirurgie wurden signifikant weniger präoperative Clavus- und Ulkusbildungen (MIS: 6 von 13 versus OR: 7 von 7) gesehen ($p=0,012$). Dies entsprach der Vergleichsgruppe N75 ($p=0,542$).

Bezüglich der radiologischen Evaluation der Fehlstellung entsprachen sich die N20- und die N75-Kohorte ($p=0,502$). In der MIS-Subgruppe der N20-Kohorte wurden 13 uniplanare Deformitäten versorgt und in der offen-chirurgischen Subgruppe der 20 solitär versorgten Kleinzehe sahen wir 5 uniplanare Abweichungen sowie zusätzlich 2 Patienten mit transversaler Fehlstellung ($p=0,042$).

Zusammenfassend waren in der N20-Kohorte demnach überdurchschnittlich viele Männer mit unterdurchschnittlich häufiger Clavus- und Ulkusbildung im Vergleich zur Gruppe mit zusätzlichen fußchirurgischen Eingriffen zu vermelden. Ansonsten entsprachen sich diese Vergleichsgruppen in den allgemeinen Patientencharakteristika. Im Subgruppenvergleich fällt lediglich der höhere Anteil an biplanaren Fehlstellungen in der offen-chirurgischen Kohorte auf.

4.7.2 Verfahrenssicherheit (N = 20)

In der Gruppe der solitären Kleinzeheoperationen (N20) kam es postoperativ insgesamt in 4 von 20 Fällen zu Drahtkomplikationen. In der minimal-invasiven Gruppe kam es zu drei Drahtluxationen (3/13) und in der offen-chirurgischen Gruppe zu einer Drahtverbiegung (1/7), was keinen Subgruppenunterschied in der statistischen Auswertung ergab ($p=0,172$). Im Vergleich zur Kohorte mit zusätzlichen Fußeingriffen

(N75), welche lediglich 3 Drahtkomplikationen aufwies, wies die N20-Gruppe jedoch einen signifikant höheren Anteil an Drahtkomplikationen auf ($p=0,021$).

Passend hierzu gestaltete sich auch die Verteilung der Incompliance in der N20-Kohorte (MIS: 5/13 versus OS 2/7) in gleichartiger Weise ($p=0,658$). Im übergeordneten Gruppenvergleich war auch die Incompliance in der N20-Gruppe deutlich häufiger als in der N75-Vergleichsgruppe ($p=0,008$).

Wundheilungsstörungen wurden mit 4 von 16 Fällen signifikant häufiger ($p=0,036$) in der Gruppe der alleinstehenden Kleinzehenchirurgie vermerkt als in der Vergleichsgruppe (4 von 75). Ein signifikanter Subgruppenunterschied innerhalb der N20-Kohorte zwischen offener Chirurgie und MIS-Subgruppe konnte entsprechend des gesamten Patientenkollektivs ebenfalls bezüglich einer prolongierten Wundheilung nachgewiesen werden ($p=0,002$), wobei diese in der MIS-Gruppe gar nicht auftrat, in der OS-Gruppe jedoch in 4 von 7 Fällen. Auch postoperative Wundinfekte konnten in der minimal-invasiven Subgruppe nicht eruiert werden. Diese traten in der offen-chirurgischen Gruppe in 2 von 7 Fällen auf ($p=0,042$). Global betrachtet traten auch Wundinfekte in der N20-Gruppe (2/20) häufiger auf als in der N75-Gruppe (3/75). Hier lag der p-Wert bei 0,006.

Ischämische Zehen, Nekrosen oder gar Zehenverluste waren weder im Vergleich der Patientengruppe mit und ohne Zusatzeingriffe noch im Vergleich der Subgruppen untereinander zu beklagen. Auch tiefe Beinvenenthrombosen sowie die Ausbildung von Narbenstrikturen oder Keloiden waren in beiden Gruppen nicht zu dokumentieren. Es resultierte insgesamt eine signifikant vermehrte Häufigkeit für ärztliche Folgebehandlungen in der Gruppe der solitären Kleinzehenoperationen gegenüber der Gruppe mit zusätzlichen fußchirurgischen Maßnahmen ($p=0,001$). Diese waren in der OS-Gruppe in 4 von 7 Fällen in Form von Antibiotikagaben, Infiltrationsbehandlungen und Wundkontrollen notwendig. In der MIS-Gruppe war nur ein Patient zu einer ambulanten Wundkontrolle mit entsprechender Verbandsanlage vorstellig gewesen. Es ergab sich hier im Detail jedoch keine statistisch signifikante Abweichung zwischen den konkurrierenden operativen Ansätzen ($p>0,05$). Betrachtet man jedoch die Summe der klinischen Komplikationen inklusive Wundheilungsstörung, Wundinfekten, Drahtalterationen und der etwaigen Entwicklung einer Arthrofibrose (1/20), einer Striktur oder eines Keloids (0/20) sowie eines möglichen neuropathischen

Schmerzgeschehens (0/20), zeigt sich eine signifikant geringere Komplikationsrate in der Gruppe der minimal-invasiven Chirurgie ($p=0,033$).

4.7.3 Patientenzufriedenheit (N = 20)

Die Befragung der gesamten Patienten bezüglich ihrer subjektiven Zufriedenheit ergab keinerlei Unterschiede zwischen den solitären Zehenkorrekturen und den Patienten mit additiven Eingriffen ($p>0,05$). Innerhalb der N20-Kohorte gaben alle 20 Patienten postoperativ eine Zufriedenheit sowie den Willen zur Wiederholung des Eingriffs mit der gleichen Technik an.

Auch die Empfehlung an Mitpatienten und Familienmitgliedern wurde in allen 20 Fällen ausgesprochen. In der 1,5-Jahres-Kontrolle wurde zudem analog zur Gesamtgruppe ein leichter Rückgang der Zufriedenheit festgestellt (MIS 11/13 und OS 6/7 bei $p=0,948$). Bezüglich der hypothetischen Wiederholung der Prozedur gab ein weiterer Studienteilnehmer nach 1,5 Jahren keine zustimmende Antwort (MIS 11/13 und OS 5/7 bei $p=0,482$). Für die Weiterempfehlung an Mitpatienten und Familie ergab sich erneut die erstgenannte Verteilung (MIS 11/13 und OS 6/7 bei $p=0,948$). Insgesamt entspricht demnach die subjektive Wahrnehmung des Operationsergebnisses in der Gruppe der isolierten Kleinzehenoperation der der Vergleichsgruppe bzw. des gesamten Patientenkollektivs.

4.7.4 Funktionelle Ergebnisse (N = 20)

Im Rahmen der Auswertung der FFI-Fragebögen konnten zwischen den solitären Kleinzehenoperationen und den Patienten mit additiven fußchirurgischen Maßnahmen keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden ($p<0,05$). Für alle 20 Patienten der o. g. Subgruppe konnte eine deutliche Reduktion der kumulierten Schmerztage im Mittelwert von 4,7 (SD 2,6 d) auf 1,2 (SD 2,6 d) Tage vorgewiesen werden. Die MIS-Gruppe fiel im Mittelwert von 4,0 Schmerztagen (SD 2,6 d) auf 0,5 Schmerztage (SD 1,9 d). Hingegen sahen wir in der OS-Gruppe einen Abfall von im Mittelwert 5,9 Schmerztagen (SD 2,0 d) auf 2,4 Schmerztage (SD 3,2 d). Der präoperative p-Wert gab bei 0,157 keine eindeutige Abweichung aus. Auch der postoperative p-Wert ergab mit 0,097 keine Gruppenunterschiede.

Die mittlere Summe der FFI-Werte betrug für das Kollektiv der 20 Patienten 80,3 Punkte (SD 24,7) vor der Operation und im Mittelwert 35,2 Punkte in der Verlaufskontrolle (SD 27,4), so dass sich eine statistisch signifikante Besserung des

verwandten Schmerz- und Funktionsscores durch die Kleinzehenkorrekturen darlegen ließ ($p=0,000$). Gleiches galt für die Summe der Punkte des Schmerzfragenblocks ($p=0,001$) sowie für die Summe der Punkte des Funktionsfragenblocks im perioperativen Verlauf ($p=0,001$).

Auch in der longitudinalen Analyse innerhalb der jeweiligen Subgruppe konnte jeweils eine Besserung des Schmerz- und Funktionsniveaus nach operativer Versorgung erreicht werden ($p<0,05$).

Im direkten Vergleich der Operationstechniken ergaben sich keine signifikanten Subgruppenunterschiede in den funktionellen Kategorien ($p>0,05$).

Im Falle des Ausbleibens einer Wundheilungsstörung ($N=16/20$) konnte mit Sicht auf das postoperative Schmerzempfinden sogar ein signifikant besseres Ergebnis im FFI-D-Score für die MIS-Gruppe festgehalten werden ($p=0,025$).

Eine Gruppierung nach Ausbleiben von postoperativen Wundinfekten ergab ebenfalls eine signifikante Abweichung der postoperativen FFI-Gesamtwerte ($p=0,010$) sowie der postoperativen Funktionspunkte ($p=0,014$) zum Vorteil der minimal-invasiv versorgten Patienten.

Die Untersuchung auf geschlechtsspezifische Unterschiede zwischen den Operationsmethoden blieb bezüglich des Fuß-Funktions-Index ohne statistische Signifikanz ($p>0,05$).

4.7.5 Klinische Ergebnisse (N = 20)

Zur Evaluation der klinischen Korrektur der Kleinzehendeformitäten waren zum Zeitpunkt der Verlaufskontrolle 17 von 20 Patienten vorstellig geworden. Somit waren 3 von insgesamt 11 Dropouts in dieser Gruppe zu finden.

Erstaunlicherweise entfielen 3 der insgesamt 4 unzureichenden Stellungskorrekturen ($N=84$) auf die Gruppe der solitären Kleinzehendeformitäten, so dass sich ein deutlicher Unterschied zur Vergleichsgruppe mit zusätzlichen Fußeingriffen ergab ($p=0,019$). Die dezidierte Auswertung der einfachen Kleinzehenkorrekturen ergab in der offen-chirurgischen Gruppe eine gute bis sehr gute Stellung in 6 von 7 Fällen und in 8 von 10 Fällen in der minimal-invasiven Gruppe ($p=0,289$).

Persistierende Schuhkonflikte wurden mündlich bzw. fernmündlich in 3 von 20 Fällen der N20-Kohorte berichtet, wohingegen dies in der N75-Vergleichsgruppe lediglich 4 von 75 Patienten angaben ($p=0,141$).

Es verblieben in der MIS-Gruppe in 2 von 13 Fällen und in der OR-Gruppe in einem von 7 Fällen mechanische Probleme im Schuhwerk ($p=0,948$).

In Anlehnung an die Wundkomplikationen sahen wir also auch bei der klinischen Ergebnisse der Kleinzehendeformitäten eine Häufung der mangelhaften Ergebnisse unter den isolierten Kleinzeheneingriffe.

Zwischen den Operationsmethoden lassen sich jedoch keine prägnanten Unterschiede ausmachen, was sicherlich durch die begrenzte Gruppengröße bedingt ist.

4.7.6 Radiologische Ergebnisse (N = 20)

Die postoperative Röntgenkontrolle erbrachte analog zum Gesamtkollektiv keine signifikanten Unterschiede zwischen minimal-invasiver und offen-chirurgischer Arbeit bezüglich Repositionsverlust, dorsoplantarem und mediolateralem Alignment sowie einer generellen etwaigen Residualfehlstellung oder dem postoperativen Knochenkontakt bzw. der Materiallage (p -Werte sämtlichst $> 0,05$).

In der Verlaufskontrolle nach ca. 18 Monaten wurden radiologisch 8 von 10 minimal-invasiv operierten Kleinzehendeformitäten als achsgerecht gewertet (3 von 13 Patienten nicht erschienen). In der OS-Gruppe waren 6 von 7 Kleinzehen regelrecht im Raum orientiert. Signifikante Gruppenunterschiede gab es nicht ($p=0,289$).

Auch bezüglich mediolateralem und dorsoplantarem Alignment sowie Residualfehlstellung waren die Ergebnisse mit der Gesamtkohorte vergleichbar und ohne signifikante Gruppenunterschiede ($p>0,05$).

Entgegen den radiologischen Ergebnissen aller Patienten konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen MIS- und OS-Gruppe bezüglich knöcherner Konsolidierung ($p=0,148$) bzw. Pseudarthrosenbildung ($p=0,198$) in der reinen Kleinzehenchirurgie nachgewiesen werden.

Vergleicht man jedoch die solitären Kleinzehenkorrekturen mit der Gruppe der additiven Fußeingriffe, so wurden 3 von 17 radiologisch kontrollierten Patienten der reinen Kleinzehenoperationen als unzureichend achskorrigiert bewertet, was lediglich

einer mangelhaften Korrektur in der Vergleichsgruppe gegenübersteht ($p=0,019$). Dieser Unterschied betrifft das dorsoplantare Alignment ($p=0,046$), jedoch nicht das mediolaterale Alignment sowie etwaige Pseudarthrosen- bzw. Konsolidierungsraten ($p>0,05$).

4.7.7 Zusammenfassung der Ergebnisse solitäre Kleinzechenchirurgie (N = 20)

In der operativen Therapie der solitären Kleinzechendeformitäten konnte eine hohe Patientenzufriedenheit mit guten klinischen, funktionellen und radiologischen Ergebnissen nachgewiesen werden.

Trotz der geringen Gruppengröße hatten sich signifikante Unterschiede bezüglich der Verfahrenssicherheit durch vermehrte Wundheilungsstörungen und Wundinfekte in der Gruppe der offenen Chirurgie verifizieren lassen. Drahtkomplikationen, und Knochenheilungsstörungen wiesen hingegen keine signifikanten Gruppenunterschiede in dieser speziellen Unterkohorte auf.

4.8 Zusammenfassung der gesamten Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser klinischen Studien zeigten, dass die Kleinzechenchirurgie in ihrer Gesamtheit ein sicheres, verlässliches und zufriedenstellendes Behandlungskonzept darstellt, welches gute Resultate trotz naturgegebener Widrigkeiten, wie beispielsweise spärlichem Weichteilmantel, körperferner Lage, metabolischen Komorbiditäten und teilweise eingeschränkter Mitarbeit durch die Patienten, erzielte.

In dieser Studie verzeichneten wir einen 32 % längeren stationären Aufenthalt bei den offen-chirurgisch behandelten Patienten ($p=0,001$).

Die seltenen mechanischen Komplikationen hingen in ihrer Art von der operativen Technik ab, da Drähte, die bis in das Os metatarsale reichten zur Verbiegung neigten und Drähte, welche lediglich in der Grundphalanx verankert waren, eher luxierten.

Auffallend war auch der signifikant höhere Anteil von Wundheilungsstörungen ($p=0,029$) und Wundinfektionen in der offen-chirurgischen Gruppe ($p=0,001$).

Weitere klinische Komplikationen traten jedoch selten und in beiden Gruppen gleich verteilt auf.

Im Langzeitintervall konnte für beide Operationstechniken eine hohe Patientenzufriedenheit insgesamt von 88,4 % erreicht werden, wobei 4,2 % der

Patienten eine ambivalente Meinung hatten und 7,4 % der Patienten unzufrieden waren. Die Zustimmung zu einer hypothetischen Wiederholung des OP-Verfahrens als auch die Weiterempfehlungsquote an Mitpatienten und Familienangehörige bewegte sich um die 90 %-Marke, so dass insgesamt von einer großen subjektiven Zufriedenheit der Patienten im Bereich der Kleinzehenchirurgie auszugehen war. Gruppenunterschiede gab es nicht.

Die Auswertung des Fuß-Funktions-Index Deutschland bewies eine große Verlässlichkeit der beiden untersuchten Verfahren und zeigte eine deutliche Linderung der Beschwerden sowie eine Verbesserung der alltäglichen Funktion, ohne dass sich ein Verfahren signifikant gegen das andere durchsetzen konnte.

Die Bewertung der klinischen Korrektur der operierten Kleinzehen durch die Studienärzte ergab für 80 von 84 Patienten ein gutes bis sehr gutes Operationsergebnis (95,2 %) und wies zwischen den beiden Operationsmethoden ebenfalls keine wegweisenden Unterschiede auf.

Diese Bewertung konnte im Rahmen der radiologischen Kontrollen bestätigt werden, da ebenfalls für 80 von 84 Patienten ein gutes bis sehr gutes Stellungsergebnis im Röntgenbild nachgewiesen wurde. Somit lag die Rate für ein manifestes Rezidiv einer Kleinzehenfehlstellung, unabhängig von der Operationsmethode, in dieser Studie bei 4,8 %.

Bei 6 von 84 Patienten kam es zur Ausbildung einer permanenten Verknöcherungsstörung im Sinne einer Pseudarthrose, wobei interessanterweise alle Fälle auf die Gruppe der offenen Chirurgie entfielen.

Bei vergleichbarer Patientenzufriedenheit, ähnlicher klinischer und radiologischer Stellungskorrektur und analogem postoperativem Schmerz- und Funktionsstatus ergab die minimal-invasive Technik, trotz des Risikos eines Drahtzwischenfalles, eine verkürzte Krankenhausverweildauer, eine deutlich geringe Rate an Wundkomplikationen und eine sicherere Knochenheilung als die klassische offenchirurgische Behandlungsmethode.

Diese Ergebnisse konnte mehrheitlich in der Analyse der Kohorte mit isolierten Kleinzeheneingriffen bestätigt werden.

5. DISKUSSION

Die vorliegenden klinischen Daten stellen mit hoher Nachverfolgungsrate detailliert die perioperativen Verläufe der Patienten dar, die sich einer Kleinzehenkorrektur offen-chirurgisch oder minimal-invasiv in unserer Klinik unterzogen haben. Es wurde ein besonderer Fokus auf die fünf resultatbezogenen Hauptkomplexe Verfahrenssicherheit, subjektive Zufriedenheit, objektive funktionelle und klinische sowie radiologische Ergebnisse gelegt.

Die Patienten dieser Studie repräsentierten bezüglich ihrer demografischen Daten adäquat das typische fußchirurgische Klientel unserer Region.

Es herrscht international ein Mangel an prospektiven komparativen Studiendaten bezüglich der Kleinzehenchirurgie in minimal-invasiver bzw. offen-chirurgischer Technik. Es sind lediglich zwei retrospektive Studien zur Korrektur von Hammerzehenfehlstellungen unter Verwendung dieser Techniken erhältlich [45], [46]. Weitere zwei Studien thematisieren diesen Verfahrensvergleich mit Fokus auf die operative Therapie der Metatarsalgie [47], [48].

Es war ein Anliegen dieser Arbeit, die tatsächlichen operativen Ergebnisse bei der Techniken mit einer adäquaten Datenmenge zu untermauern (s. Anmerkung zur Power-Analyse) und ggfs. auch Limitierungen der einen bzw. anderen Methode zu identifizieren, um einen klinischen Fortschritt zu ermöglichen. Dies konnte im Rahmen dieser Arbeit umfassend erbracht werden.

5.1 Kritische Betrachtung der verwendeten Methoden

Für die Validität der Ergebnisse dieser Arbeit sprach das große Patientenkollektiv, welches nach Ein- und Ausschlusskriterien selektiert prospektiv, randomisiert und standardisiert untersucht wurde. Lediglich im Bereich der solitären Kleinzehenkorrekturen verblieb eine Kohorte mit begrenzter Fallzahl.

Positiv hingegen ist jedoch zu werten, dass ein hoher Anteil der eingeschlossenen Patienten zur abschließenden Datenakquise nach 18 Monaten gewonnen werden konnte. Es ergaben sich daher planbare Nachuntersuchungen mit einem geringen Grad an Fehlwerten (5% Nichterscheinen). Die Untersuchungsmethoden wurden so gewählt, dass sie einem breiten Fachpublikum bekannt und gebräuchlich waren. Dazu zählten neben offensichtlichen klinischen Verlaufsparemtern wie

Wundheilungsstörungen, Infektionen oder mechanischen Komplikationen auch die Nutzung international eingeführter PROM-Bögen (FFI-D) und die Heranziehung objektiver radiologischer Daten wie Achsgerechtigkeit, knöcherne Konsolidierung und Pseudarthrosenentwicklung. Alternativ hätten auch andere anerkannte Befragungsbögen wie der AOFAS, EFAS, MOxFQ oder Short Form Health Survey SF-36 genutzt werden können. Aufgrund der validierten Übersetzungen und der entsprechenden Verbreitung wurde sich jedoch für den FFI-D entschieden [44]. Ein Hauptkritikpunkt an dieser Arbeit ist in der monozentrischen Studienanlage zu sehen, da lediglich drei Operateure die Operationen ausführten, dies jedoch in vergleichbar erfahrener und analoger Technik, so dass die Streubreite der Resultate gering war. Eine multizentrische Analyse ist daher zur weiteren Verifikation der Ergebnisse anzudenken. Das Patientengut war gezwungenermaßen vorselektiert und mäßig inhomogen, was Geschlecht, Art der Fehlstellung und Risikoprofil betraf. Dies lag jedoch in der Ätiopathologie der untersuchten Deformitäten begründet. Auch die vergleichende Untersuchung vollständig metabolisch gesunder mit Stoffwechselkranken Patienten wäre interessant, um tatsächliche Risikofaktoren und Implikationen für die klinischen Ergebnisse detektieren zu können. Andere internationale Arbeitsgruppen nutzen zudem eine abweichende Nomenklatur bezüglich der Kleinzehendeformitäten [49]. Hier herrscht bisher keinerlei Konsens. Die statistische Auswertung hingegen erfolgte gemäß den geltenden Standards umfangreich deskriptiv und zielgerichtet mit adäquaten Signifikanztests. Eine multivariate Analyse zur Bestimmung entscheidender Patientenfaktoren könnte angeschlossen werden.

5.2 Diskussion der erhobenen Daten

Um die operativen Ergebnisse einer bestimmten Methode darstellen zu können, bedurfte es neben den statischen Parametern bezüglich der Heilung und Stellung der Kleinzehen auch einer dezidierten Befragung der Patienten, da die Operationsergebnisse aus der objektiven ärztlichen Sicht nicht immer mit dem Wohlbefinden und der Zufriedenheit des Patienten postoperativ korrelierten. Daher wurde in dieser Studie angestrebt, eine solide Faktenlage zu erzeugen, aber auch den persönlichen Empfindungen der Patienten gerecht zu werden. Das Kontrollintervall von 18 Monaten erschien adäquat, da laut eigener klinischer Erfahrung nach Abschluss dieses Zeitrahmens eine Änderung der Zehenkonfiguration kaum mehr

anzunehmen war. Dies konnte jedoch nicht wissenschaftlich belegt werden. Eine längerfristige Beobachtung ist grundsätzlich jedoch weiterhin interessant.

5.2.1 Basischarakteristika

73,7 % der Studienteilnehmer waren weiblich (N=70) und 26,3 % waren männlich (N=25). Das durchschnittliche Alter der Patienten betrug 63,24 Jahre. Die Alters- und Geschlechtsverteilung der eingeschlossenen Patienten entsprach der vergleichbarer Studien im Bereich der Vorfußchirurgie.

In einer retrospektiven komparativen Studie von Yassin et al aus dem Jahr 2017 wurden 352 Patienten mit Hammerzehendeformitäten eingeschlossen. 87 Patienten wurden minimal-invasiv versorgt und weitere 265 erhielten eine offen-chirurgische Therapie. Insgesamt wurden 675 Zehen korrigiert, wobei 221 Zehen die MIS-Gruppe vertraten und 454 Zehen in die OS-Gruppe mit Kirschnerdraht-Fixation fielen. Der Anteil der weiblichen Patienten betrug 55,9 %, das Durchschnittsalter 52,8 Jahre. Die Patienten wurden im Intervall von 6 Monaten nachuntersucht. Die operative Technik der Kollegen entsprach dabei sowohl in der offen-chirurgischen als auch der perkutanen Gruppe dem iterativen, individuellen Vorgehen, welches auch in dieser Arbeit genutzt wurde [45].

In der ebenfalls retrospektiven vergleichenden Studie von Mateen et al. aus dem Jahr 2023 wurden 41 Patienten eingeschlossen, die eine operative Korrektur bei Hammerzehendeformität erhalten hatten. Von insgesamt 68 Füßen wurden 54 minimal-invasiv korrigiert (124 Zehen) und 14 Füße offen-chirurgisch adressiert (22 Zehen). Die minimal-invasive Technik beinhaltete neben dem Weichteilmanagement eine perkutane Entknorpelung des PIP-Gelenkes mit retrograder intramedullärer Transfixation aller drei Phalangen mittels einer kanülierten 2,5 mm Schraube (93,55 % der Fälle). 6,45 % der perkutan versorgten Zehen erhielten keine Fixation (N=5) bzw. eine Drahtfixation (N=3).

Die offen chirurgische Technik wurde im Wesentlichen als PIP-Arthrodesen (95,45 %) und ansonsten in Form einer Resektionsarthroplastik des PIP-Gelenkes mit zusätzlichen weichteiligen Korrekturen und Kirschnerdraht-Transfixation bis in den Mittelfußknochen durchgeführt.

Demnach ist das angewandte Verfahren in der perkutanen Gruppe konträr zu unserer Studie, da die hiesige MIS-Gruppe gelenkerhaltend versorgt und mittels Drahts fixiert

wurde und die genannte Vergleichsstudie eine perkutane Arthrodesse mit Schraubenfixation bevorzugte. In der MIS-Gruppe waren 71 % und in der OS-Gruppe 75 % der Patienten weiblichen Geschlechts. 56 ± 15 Jahre betrug das mittlere Alter in der minimal-invasiven Gruppe und 55 ± 14 Jahre in der offen-chirurgischen Patientengruppe [46].

2017 verglichen Thomas und Kollegen mit jeweils 30 Patienten prospektiv die distale minimal-invasive Metatarsale-Osteotomie (DMMO, N=73) mit der Weil-Osteotomie (N=45) nach einer mittleren Nachuntersuchungszeit von 13 Monaten. Dabei wies die Weil-Gruppe ein Durchschnittsalter von 59,0 und die MIS-Gruppe von 58,0 Jahren auf. Der Anteil weiblicher Patienten betrug in der Weil-Gruppe 80,0 % und in der MIS-Gruppe 86,7 %.

Neben den namensgebenden Prozeduren führten die Kollegen in beiden Studienarmen auch Kleinzehenkorrekturen in analoger Technik zu dieser Studie durch. Das Durchschnittsalter betrug 57,7 Jahre [48].

In der PUBMED-Suche ließ sich eine 4., zwischen offener und perkutaner Vorfußchirurgie unterscheidende, Studie von Yeo et al. aus dem Jahr 2016 finden. Hierbei wurden retrospektiv die Daten von 33 Patienten mit Metatarsalgie, die entweder mittels Weil-Operation offen-chirurgisch (20 Patienten an 41 Zehen) oder durch eine DMMO (13 Patienten an 22 Zehen) minimal-invasiv versorgt wurden, ausgewertet. Das Kontrollintervall betrug 6 Monate.

Der Altersmittelwert betrug $63,8 \pm 8,0$ Jahre (Weil) bzw. $55,0 \pm 13,0$ Jahre (DMMO), wobei in der Weil-Gruppe 70 % der Patienten weiblich waren und in der DMMO-Gruppe 92,3 % [47].

Sowohl die Alters- als auch Geschlechterverteilung der vergleichbaren Studien entspricht daher annähernd dem hiesigen Patientenkollektiv.

In bedeutenden nicht-komparativen Studien im Bereich der Kleinzehenchirurgie konnten ebenfalls vergleichbare Werte nachgewiesen werden.

Coughlin untersuchte im Jahr 2000 im Rahmen der Korrektur von fixierten Hammerzehenfehlstellungen durch Resektionsarthroplastik des PIP-Gelenks mit K-Drahttransfixation an 63 Patienten und insgesamt 118 Zehen das klinische und radiologische Outcome nach durchschnittlich 61 Monaten. 87 % der Studienteilnehmer

waren derzeit Frauen, der Altersschwerpunkt lag ebenfalls zwischen 55 und 65 Jahren [50].

Eine große retrospektive Studie von Kramer und Kollegen von 2015 verglich im Rahmen der Hammerzehenkorrektur die Resektionsarthroplastik mit der Arthrodesse des PIP-Gelenkes inklusive jeweiliger K-Drahttransfixation. Von 1999 bis 2013 erhielten 876 Patienten 2698 Hammerzehenkorrekturen. 709 Patienten waren weiblich (80,9 %) bei einem Durchschnittsalter von 57,5 Jahren [51].

Auch kleinere Studien zu minimal-invasiven Techniken boten ähnliche demografische Daten. 2015 untersuchten Frey et al. die klinischen Ergebnisse nach minimal-invasiven Korrekturen von Kleinzehefehlstellungen des 2. Strahls. Letztlich konnten 54 Patienten und 57 Füße kontrolliert und evaluiert werden. Davon waren 53 Individuen Frauen bei einem Altersdurchschnitt von 64,4 Jahren [52].

Auch Gilheany und Kollegen hatten 2015 eine prospektive Studie zur minimal-invasiven Korrektur von Kleinzehefehlstellung bei 179 Patienten und 299 Zehen veröffentlicht. 91,6 % der Patienten waren weiblich mit einem durchschnittlichen Alter von $62 \pm 8,25$ Jahren [33].

Lopez-Vigil et al hatten 2019 in ihrer Studie von 30 Patienten mit Metatarsalgie durch DMMO des 2. Strahls versorgt und verzeichneten einen Frauenanteil von 80 % bei einem Durchschnittsalter von 58,9 Jahren [53].

In einer ähnlich angelegten Studie van Haque aus dem Jahr 2016 erhielten 30 Patienten eine DMMO zur Therapie der Metatarsalgie. Hierbei waren ca. 57 % Frauen mit einem Durchschnittsalter von 60 Jahren [54].

In unserer Studie wurden 131 Kleinzehen bei 95 Patienten operativ korrigiert (siehe Tabelle 5). 102 Zehen waren als Hammerzehen konfiguriert und bilden somit die Mehrheit der behandelten Fehlstellungen. 25 Zehen waren in Form von Krallenzehen ausgeprägt und 4 Hämmerchenzehen wurden operativ versorgt. 14 dieser Zehen wiesen auch eine transversale Fehlstellung auf und hätten demzufolge auch als crossover toes gewertet werden können. Curly toes und Digitus quintus varus waren in dieser Studie nicht vertreten.

Auch die Vergleichsstudien von Yassin und Mateen untersuchten vorrangig Hammerzehendeformitäten [45], [46].

Die Arbeiten von Yeo und Thomas hingegen bezogen sich auf die Metatarsalgie als wegweisende Pathologie [47], [48].

Studien zu Langzeitergebnissen von offen-chirurgischen Methoden der Kleinzehenkorrektur, welche verschiedene Techniken und Fixationsmethoden vergleichen oder lediglich eine Verfahrensweise beschreiben, sind reichlich verfügbar [32], [55], [56], [57], [58], [59].

Auch hier wurden vornehmlich Korrekturen von Hammer- und Krallenzehendeformitäten untersucht. Die Korrektur des Crossover toes wurde explizit von Kaz und Kollegen im Jahr 2007 an 169 Patienten (86 % Frauen) untersucht [19]. Daher sind auch die Fehlstellungen unseres Patientenkollektivs als repräsentativ für die Kleinzehenchirurgie zu werten.

Die offen-chirurgische Behandlung der Lockenzehe wurde 2015 von Choi et al. untersucht, ist aber mit der hiesigen Studie nicht in den Vergleich zu setzen [60].

Auch die retrospektive Analyse von Martijn et al. zur offen-chirurgischen Schneiderballenkorrektur findet aufgrund des Fehlens dieser Entität in unserer Studie keinen Vergleichspartner [61].

Gerade die selteneren Fehlstellungen, wie Lockenzehe oder Digitus quintus varus haben, neben den o. g. häufigen Abweichungen, vermehrt Bedeutung in der Erforschung der Möglichkeiten der minimal-invasiven Chirurgie gefunden [62], [63], [64].

Insgesamt mangelt es international an prospektiven, randomisierten klinischen Studien, welche die offene und perkutane chirurgische Behandlung der häufigsten Kleinzehendeformitäten vergleichen und dabei das vorherrschende Patientenklientel repräsentativ abbilden.

Dies ist mit dieser Arbeit erstmals umfassend gelungen.

5.2.2 Verfahrenssicherheit

Es gab während dieser Studie keine wesentlichen perioperativen Komplikationen, was möglicherweise der Erfahrung der fußchirurgischen Operateure zuzuschreiben war. Im postoperativen Intervall von durchschnittlich 18 Monaten wurden jedoch bei 25 von 95 Patienten Komplikationen verzeichnet (26,3 %). Hierunter waren sämtliche unerwünschten Effekte von Incompliance, Drahtlagealterationen, Wundauffälligkeiten, Infektionen, Korrekturverlusten über notwendige ärztliche Folgebehandlungen bis hin zu neurovaskulären, klinisch-funktionellen und radiologischen Komplikationen subsummiert worden.

15 von 95 Patienten waren im Verlauf als inkompliant eingeschätzt worden, so dass der Patientenselektion neben metabolischen Aspekten auch in diesem Bereich eine große Wichtigkeit zukam. In der Literatur haben sich bis dato keine vergleichbaren Daten hierzu eruieren lassen.

In der Folge kam es in dieser Studie in der MIS-Gruppe zu 4 ungewollten, vorzeitigen Drahtluxationen bzw. Drahtverlusten (4,2 %). In der OS-Gruppe wurden hingegen dreimalig verbogene Drähte dokumentiert (3,2 %), was demnach einen signifikanten Gruppenunterschied darstellte ($p=0,03$). Insgesamt entsprach dies einer Drahtkomplikationsquote von 7,36 %.

Mateen et al. sahen in ihrer o. g. vergleichenden Studie mit 4,03 % ungeplanten Metallentfernungen (Schrauben) in der minimal-invasiven Gruppe ähnliche Werte, wohingegen kein Draht in der offen-chirurgischen Gruppe verloren ging oder eine Verbiegung aufwies. Ein signifikanter Unterschied konnte bei geringer Gruppengröße der OS-Kohorte nicht verifiziert werden [46].

Yassin et al verzeichneten 5,5 % Drahtmigrationen in der offen-chirurgischen Gruppe von 265 Patienten bzw. 464 korrigierten Zehen. Eine Drahtverbiegung oder ein Drahtbruch wurden nicht gesehen. In der MIS-Gruppe wurden keine Drähte verwendet [45].

McKenzie und Kollegen wiesen 2019 in einer großen retrospektiven Analyse von 2017 K-Drahtimplantationen im Rahmen von offenen Kleinzehenkorrekturen von 2007 bis 2017 insgesamt 23 nicht Infekt-bedingte Drahtalterationen auf (1,14 %) [65].

Letztlich stellen Drahtkomplikationen eine relevante Gefahr für das Operationsergebnis dar.

Da in der minimal-invasiven Kleinzehenchirurgie eine Fixation lediglich bis in das Grundglied favorisiert wird, scheint sich eine Drahtkomplikation häufiger in Form eines Drahtverlustes darzustellen, da eine geringere Verankerungsstabilität als bei offenchirurgischen Kohorte vorliegt. Die bis in den Mittelfuß reichenden Drähte der offenchirurgischen Herangehensweise scheinen weniger luxationsgefährdet, können jedoch mutmaßlich häufiger einen Materialbruch bzw. eine Verbiegung erleiden. Daher sind unzählige Varianten der Stellungsretention entwickelt worden.

Weit verbreitet ist bei der MIS-Chirurgie das postoperative Taping. In der offenen Kleinzehenchirurgie wurden auch intramedulläre Implantate entwickelt. Diese sollten in verschiedenen Materialien als intramedulläre Verzapfung oder Schraubenosteosynthese die Gefahr für Infektionen, Pseudarthrosen und sekundäre Fehlstellungen vermeiden [55], [56], [59], [66], [67].

Die Auswahl des Fixationsverfahrens liegt in der Hand des erfahrenen Chirurgen und muss an die individuellen Gegebenheiten des Patienten angepasst werden.

Erfreulicherweise wies in unserer Studie nur ein Patient eine postoperative Zehenischämie auf, welche durch eine Manipulation der gestressten Glieder auf dem Draht aufgehoben werden konnte. Nekrosen oder gar Amputationen waren nicht aufgetreten. Neben den extrinsischen Sofortmaßnahmen, wie Erwärmung und Flachlagerung der betroffenen Zehe, Infiltration von Lidocain oder topischer Anwendung von Nitroglyzerin-Spray haben Ingall et al. ebenfalls mechanische Maßnahmen, wie das Lockern des Verbandes, das Aufstauchen der Zehe zur Verminderung der Weichteilspannung, eine Drahtbiegung oder gar eine Drahtentfernung aufgelistet [68].

Yassin und Kollegen sahen 0,5 % ischämische Komplikationen und insgesamt waren in 0,25 % der Fälle Amputationen durchzuführen [45].

Kramer und Kollegen wiesen in der o. g. Studie mit über 1000 versorgten Kleinzehen eine Hypoperfusion in 0,6 % der Fälle aus, wobei in 0,4 % der Prozeduren letztlich eine Amputation notwendig wurde [51].

Ein weiterer wichtiger Faktor für den Erfolg einer jeden Kleinzehenkorrektur ist letztlich die Weichteilheilung. In unserer Studie kam es bei 7 (7,4 %) offenchirurgisch versorgten Patienten und einem minimal-invasiv korrigiertem Patienten (1,0 %) zu einer Wundheilungsstörung, was einen signifikanten Vorteil für die perkutane Technik

darstellte ($p=0,029$). Es war anzunehmen, dass mit Hilfe der MIS-Technik trotz erhöhter Temperaturen und der Nutzung eines rotierenden Instruments in der Tiefe bei entsprechender Expertise ohne direkte Sicht eine weichteilschonende Präparation unter Erhalt der Schutz- und Barrierefunktion der Haut möglich war.

In der Folge sahen wir fünf oberflächliche Wundinfektionen (5,3 %) in der OS-Gruppe und keine Infektion in der MIS-Gruppe, was ebenfalls einen deutlichen klinischen Vorteil darstellte. Erneut zeigte die ebenfalls komparativ angelegte, jedoch retrospektive Studie von Yassin aus dem Jahr 2017 für die offene Chirurgie der Kleinzehen eine Rate an Wundheilungsstörungen von 7,1 % sowie an Wundinfektionen von 4,1 %. Auffällig und deutlich von unserer Studie abweichend war hier die hohe Rate an Wundheilungsstörungen in der MIS-Gruppe (20,7 %), welche in 2,3 % der Fälle zu Wundinfektionen führte [45].

Möglicherweise sind hier technische Parameter wie Temperatur, Drehmoment und Drehzahl der Fräse oder auch eine Anwenderproblematik ursächlich für diese Werte.

Mateen et al. wiesen für die MIS-Gruppe eine Wundheilungsstörung (0,8 %) und für die OS-Gruppe ebenfalls eine Wundheilungsstörung (4,6 %), aber keinerlei tiefe Wundinfektionen für ihre Studie aus [46].

Kramer et al. sahen bei 2698 offenen Kleinzehenkorrekturen 9 Infekte (0,3 %) [51]. McKenzie und Kollegen wiesen hingegen bei 2017 offen-chirurgischen Kleinzehenkorrekturen insgesamt 35 Infekte nach (1,7 %) [65]. Hier waren mehrheitlich zusätzlich zur Kleinzehenkorrektur komplexe Fußoperationen angeschlossen worden, so dass in diesen kombinierten Fällen sogar eine Infektionsrate von 4,9 % resultierte. Die Infektionsrate reiner Kleinzeheneingriffe betrug dagegen nur 0,4 %. Als unabhängige Risikofaktoren wurden das männliche Geschlecht, ein erhöhter BMI, Nikotinabusus und die Versorgung mehrerer Kleinzehenstrahlen identifiziert.

Gilheany sah bei der minimal-invasiven Versorgung von 179 Patienten mit 299 Kleinzehendeformitäten lediglich eine Wundinfektion (0,6 %) [33]. De Prado beschrieb 2015 in seiner Recherche bezüglich der minimal-invasiven Vorfußchirurgie eine Infektrate von 0 bis 0,8 % mit einem Anteil von 0 bis 13 % an Weichteilverbrennungen [39]. Frey und Kollegen hatten bei der minimal-invasiven Versorgung von 54 Patienten (57 Füße) mit Kleinzehendeformitäten keinerlei Infektkomplikationen zu beklagen [52]. Auch die Studie aus dem Jahr 2017 von Molenaers bezüglich der perkutanen Korrektur

von Fehlstellungen der 5. Zehe an 20 Patienten ergab keine postoperative Wundheilungsstörung oder Entzündung [63]. Martin und Kardakia versorgten 163 Patienten durch eine intramedulläre Fixation des DIP- und PIP-Gelenkes bei einer Infektionsrate von 1,2 % und proklamierten durch diese Technik in ihrer Studie aus dem 2023 ein geringeres Risiko für Wundinfekte [69].

Maidmann et al. untersuchten in ihrer Studie bei 78 geriatrischen Patienten, die eine offen-chirurgische Hammerzehenkorrektur erhielten, die Korrelation zwischen Komorbiditäten und Outcome. Die Patienten waren durchschnittlich 69,4 Jahre alt und wurden nach Anzahl der Nebenerkrankungen (0 und 1 versus 2 und mehr) gruppiert, wobei folgende Eigenschaften gewertet wurden: Nikotinabusus, orale Antikoagulation, Diabetes mellitus Typ II, Rheumatoidarthritis, PAVK, COPD, KHK und Osteoporose. Für die Gruppe mit 2 und mehr Komorbiditäten ergab das adjustierte Quotenverhältnis (Odds Ratio) ein 4,18-fach erhöhtes Risiko für oberflächliche Wundinfekte ($p=0,045$) [70].

Die operative Therapie der Kleinzehe birgt neben den o. g. vaskulären und oberflächlichen Wundkomplikationen auch die Gefahr von beeinträchtigenden neuropathischen Sensationen im Verlauf. Diese waren in unserer Arbeit auf beide Studienarme mit je 3 Patienten gleich aufgeteilt ($p=0,200$). Demnach bestand ein Gesamtanteil an Nervenschmerzsyndromen von 6,3 % in dieser Studie. 5 der 6 Patienten waren durch eine Infiltrationsbehandlung zu therapieren, jedoch musste ein komplexes regionales Schmerzsyndrom stationär per Katheteranlage behandelt werden. Dieser Beschwerdegruppe ist also eine große Wichtigkeit beizumessen, da sie die Zufriedenheit der Patienten maßgeblich beeinflussen kann. Die vier oben genannten, erhältlichen vergleichenden Studien lieferten leider keinerlei Aussagen bezüglich dieser Problematik [45], [46], [47], [48].

Im Bereich der offen-chirurgischen Kleinzechenchirurgie erbrachten Richmann und Kollegen 2017 einige Aussagen zu postoperativen neuropathischen Beschwerden in ihrer Studie, welche die Unterschiede zwischen K-Drahttransfixation und intramedullärem Implantat zur Retention nach Hammerzehenkorrektur untersuchten. 60 Patienten (95 Zehen) wurden mittels Kirschnerdraht fixiert und 39 Patienten (54 Zehen) mittels intramedullärem Implantat. In der erstgenannten Gruppe beklagte ein Patient eine Hypästhesie, ein Patient eine Peronealnerven-Neuritis, ein Patient eine Fußheberschwäche und 3 Patienten ein anhaltendes lokales Schmerzsyndrom. In der

zweitgenannten Gruppe war hingegen ein chronisches regionales Schmerzsyndrom zu beklagen. Diese Ergebnisse bestätigten die nicht unerheblichen Risiken der offenen Technik für die periphere Nervenversorgung [59].

Frey et al. hingegen berichteten 2015 über keinerlei neurovaskuläre Einschränkungen oder Schmerzsyndrome unter ihren minimal-invasiv korrigierten 57 Füßen [52].

Dies bestätigte sowohl Gilheany anhand von 179 minimal-invasiven Kleinzehenkorrekturen ohne jegliche neuropathische Folgeerscheinungen [33] als auch Molenaers bei 20 perkutan versorgten Fehlstellungen der 5. Zehe [71]. Insgesamt entschied auch in diesem Bereich abermals die Erfahrung und Sorgfalt des Chirurgen über das Outcome des Patienten, jedoch schien ein geringeres Risikovorteil zu Gunsten der Schlüssellochtechnik möglich.

5.2.3 Patientenzufriedenheit

Die generelle Zufriedenheit der Patienten in dieser Studie war hoch. Nach dem Kontrollintervall von ca. 18 Monaten gaben lediglich 7 von 95 Patienten an, nicht zufrieden zu sein, was einer Satisfaktionsrate von 92,6 % entspricht.

89,5 % der Patienten würden bei etwaiger Notwendigkeit eine erneute Korrektur in gleicher Weise durchführen lassen (85 von 95). Eine Empfehlung der Studienteilnehmer an Mitpatienten und Familienangehörige bezüglich der chirurgischen Vorgehensweise erging in 90,5 % der Fälle (86 von 95). Keine der Fragen bot eine statistisch signifikante Abweichung zwischen beiden Studienarmen ($p > 0,05$).

Eine weiterführende Untersuchung und Identifizierung der Versager könnte Aufschluss über die Ursachen der Unzufriedenheit liefern, um letztlich diese Ergebnisse noch zu verbessern. Hierzu sind weitere Studien und gegebenenfalls auch weiterführende Fragebögen notwendig.

Yeo nutzte 2017 den RAND-36-Score zur Bestimmung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität im Rahmen seiner vergleichenden Studie zwischen Weil-Osteotomie und DMMO zur Behandlung der Metatarsalgie. Nach 6 Monaten hatte die Weil-Gruppe (92 Punkte) mit einem p-Wert von 0,026 signifikant mehr Punkte als die DMMO-Gruppe (78 Punkte), was möglicherweise durch die prolongierte Schwellphase der MIS-Technik bedingt gewesen sein könnte [47].

Yassin et al. dokumentierten in ihrer Arbeit von 2017 im Vergleich zwischen MIS- und OR-Chirurgie von Hammerzehendeformitäten eine ausgewogene Patientenzufriedenheit, jedoch wurde diese nicht quantifiziert [45].

Die komparativen Studien von Mateen sowie Thomas und Kollegen trafen keine Aussagen zur Patientenzufriedenheit [46], [48].

Die wichtige Studie von Coughlin aus dem Jahr 2000 ergab eine Gesamtzufriedenheit von 84 % unter den offen-chirurgisch versorgten Hammerzehenpatienten [50]. Lehmann et al. verzeichneten in ihrer Studie von 1995 zur Analyse der peg-in-hole-Technik zur Korrektur von Hammerzehendeformitäten eine uneingeschränkte Zufriedenheit in 48 % der Fälle, eine eingeschränkte Zufriedenheit in 37 % der Fälle sowie eine Unzufriedenheit in 15 % der Behandlungen [57].

Cicchinelli und Kollegen konnte 2020 durch eine offen-chirurgische Therapie mit Fixation durch einen biointegrativen PIP-Dart bei 25 Patienten mit Hammerzehendeformitäten das Prädikat „sehr zufrieden“ in 84 % der Fälle und ein „zufrieden“ bei den übrigen 16 % erreichen [56].

Ähnlich gute Ergebnisse (92,8 % Zufriedenheit) erreichten Harmer et al. mit dem „toe grip device“ aus Polyketon zur intramedullären Retention nach PIP-Arthrodesse bei 38 Patienten mit Hammerzehenfehlstellung [72].

O’Kane wies 2005 bei 75 Patienten an 100 Hammerzehen mit PIP-Resektionen eine Zufriedenheit von 93 % nach [58].

Zusammenfassend erreichten die Korrekturmethode im Bereich der Kleinzehenfehlstellungen ein hohes Maß an Patientenzufriedenheit und Zutrauen, so dass die Wahl der operativen Methoden vorrangig vom Risikoprofil der einzelnen Fallkonstellation und der Erfahrung des Operateurs abhängen sollte.

5.2.4 Funktionelle Ergebnisse

Neben einer hohen Verfahrenssicherheit und Patientenzufriedenheit ist für den Erfolg einer operativen Therapie das funktionelle Ergebnis essenziell. Es gibt unzählige Methoden dieses zu bewerten.

Neben der Vielzahl an Patientenfragebögen, die vornehmlich die Schmerzentwicklung sowie die Mobilisation und Bewältigungsfähigkeit ausgewiesener Situationen erfragen, wäre es im Rahmen dieser Fragestellung auch denkbar gewesen das genaue prä- und

postoperative Bewegungsausmaß der betroffenen Gelenke der Zehenstrahlen zu dokumentieren.

Auch eine vergleichende Pedobarographie hätte zusätzliche Aussagen erbringen können. Zusätzlich hätten die Zeitspannen bis zum Wiedererlangen bestimmter Fähigkeiten (Arbeit, Sport) festgehalten werden können. Aufgrund der Verbreitung und Validität des FFI-Fragebogens sowie der Menge an Daten wurde sich in der hiesigen Studie jedoch für dieses PROM-Format entschieden.

Einer weiten Verbreitung und Beliebtheit schien sich auch der AOFAS-Vorfuß-Fragebogen der amerikanischen orthopädischen Fuß- und Sprunggelenkgesellschaft zu erfreuen. Dieser [73] tauchte gehäuft in der Literaturrecherche auf und soll somit einbezogen werden. Er erfasst neben Funktion und Schmerz auch Bewegungsausmaße, die Ausrichtung der Zehen, die Kallusbildung und die notwendige Schuhzurichtung.

In unserer Studie konnte mittels des FFI-D-Fragebogens bei einem Maximalwert von 162 Punkten unter den minimal-invasiv versorgten eine signifikante Verbesserung ($p=0,001$) der Funktion sowie eine Schmerzlinderung von präoperativ durchschnittlich 83,4 Punkten zu postoperativ 28,9 Punkten nachgewiesen werden. Auch in der OS-Gruppe konnte der Mittelwert vor Intervention von 86,1 Punkten signifikant auf durchschnittlich 37,9 Punkte nach Intervention gesenkt werden, wobei zwischen beiden Studienarmen keine relevanten Unterschiede bestanden (präoperativ: $p=0,584$ postoperativ: $p=0,460$).

Von den vier vorliegenden Vergleichsstudien, welche einen offen-chirurgischen Ansatz mit einer minimal-invasiven Technik verglichen [45], [46], [47], [48], erfolgte lediglich in der Studie von Yeo et al. [47] eine Analyse mittels PROM. Hier wurde der AOFAS Vorfuß-Fragebogen zur Bewertung der Ergebnisse nach Weil-Osteotomie bzw. DMMO zur Behandlung einer Metatarsalgie bei 33 Patienten genutzt. Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammenfassend dargestellt:

Tabelle 17: AOFAS-Scores der Studie von Yeo et al

	Weil-Osteotomie	DMMO	p-Wert
Anzahl	20	13	
AOFAS präoperativ (MW, SD)	62 (49-71)	69 (60-83)	0,559
AOFAS 6 Monate (MW, SD)	86 (79-93)	88 (77-92)	0,831

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung.

Auch diese Autoren konnten eine deutliche Verbesserung der inbegriffenen Parameter sowohl für die perkutane als auch für die offene Operationsmethode nachweisen, ohne dass signifikante Gruppenunterschiede ersichtlich wurden. Hierbei war jedoch die geringe Gruppengröße und das kurze Kontrollintervall zu beachten.

Im Bereich der offenen Kleinzehenchirurgie konnten Coughlin und Kollegen im Jahr 2000 einen postoperativen AOFAS-Wert von 83 Punkten bei 63 Patienten und 118 versorgten Kleinzehendeformitäten dokumentieren, wobei in 92 % der Fälle eine signifikante Schmerzlinderung zu verzeichnen war [50].

Caterini et al. beschrieben in ihrer Studie von 2004 bezüglich einer PIP-Arthrodeese mit intramedullärer Schraubenfixation an 51 Zehen von 37 Füßen und 24 Patienten einen finalen AOFAS-Wert von durchschnittlich 86,5 Punkten [66]. O'Kane und Kollegen erreichten durch Resektionsarthroplastiken von PIP-Gelenken von 100 Zehen bei 75 Patienten gar einen durchschnittlichen AOFAS-Punktwert von 95 nach einem mittleren Kontrollintervall von 44 Monaten [58].

2016 veröffentlichten Schrier et al. eine komparative randomisierte klinische Studie zu funktionellen Ergebnissen nach Arthrodeese (50 Zehen) bzw. Resektionsarthroplastik (39 Zehen) bei Kleinzehenfehlstellungen mit PIP-Kontraktur. Sie fanden unter Nutzung des AOFAS- und des FFI-Fragebogens keine signifikanten Gruppenunterschiede [32]. Harmer und Kollegen hingegen nutzten den Manchester-Oxford-Foot-Questionnaire-Fragenbogen (MOXFQ) zur Darstellung der gesundheitsabhängigen Lebensqualität nach offen-chirurgischer Korrektur von 38 Patienten mit Hammerzehendeformitäten und Implantation eines intramedullären Polyketon-Implantates. Auch sie konnten eine deutliche Verbesserung des durchschnittlichen Punktwertes nach dem Kontrollintervall von 36 Monaten nachweisen [72].

Im Feld der minimal-invasiven Kleinzehen- und Vorfußchirurgie liegen ebenfalls einige Studien vor, welche die funktionellen Ergebnisse mittels entsprechender Fragebögen ermittelten. Ramírez-Andrés und Mitarbeiter erreichten 2022 in ihrer Studie zur minimal-invasiven Achskorrektur von 30 Patienten mit Lockenzehen durch eine unikortikale Osteotomie nach 6 Monaten einen AOFAS-Wert von durchschnittlich 89,9 Punkten. Bei einem präoperativen Ausgangswert von im Mittel 37,0 Punkten betrug die Verbesserung demnach 52,9 Punkte [74].

Auch Molenaers et al. versorgten in ihrer Studie aus dem Jahre 2017 zwanzig Schneiderballen durch eine schräge minimal-invasive Osteotomietechnik mit

postoperativem Taping und konnten so nach 27 Monaten einen durchschnittlichen AOFAS-Punktwert von 91 erreichen [71].

Eine ähnliche Technik verwendeten auch Ferreira und Kollegen zur Behandlung von 42 Schneiderballen an 31 Patienten mit einem durchschnittlichen Anstieg des AOFAS-Punktwertes von 34,9 nach etwa einem Jahr Kontrollintervall (Mittelwert 13,1 Monate) [62].

Lopez-Vigil et al konnten durch DMMO zur Behandlung einer Metatarsalgie bei 30 Patienten im Kontrollintervall von 18 Monaten sogar einen durchschnittlichen AOFAS-Wert von 95 Punkten verzeichnen [53].

Hingegen nutzten Haque und Kollegen zur Erfassung der funktionellen Ergebnisse 12 Monate nach DMMO bei ebenfalls 30 Patienten den MOXFQ-Bogen und konnten exzellente Ergebnisse nachweisen [54].

All diese Studien bestätigten die Indikation zur operativen Therapie bei symptomatischen Vorfußfehlstellungen, insbesondere Kleinzehenfehlstellungen, und wiesen sowohl für den Goldstandard der offenen Kleinzehenchirurgie als auch für die perkutane Technik eine klare Verbesserung der Schmerzsymptomatik und Funktion nach.

5.2.5 Klinische Ergebnisse

Zur Feststellung der klinischen Ergebnisse nach operativer Therapie von Kleinzehendeformitäten erfolgte in dieser Arbeit eine umfangreiche Dokumentation. Durch Inspektion und Palpation wurde neben der Stellung der Zehen in den drei Raumebenen unter Erfassung etwaiger Rezidive auch die mögliche Komplikation einer Narbenstriktur bzw. auch Arthrofibrose festgehalten. Hierbei hätte eine genaue Bestimmung der Beweglichkeit mit Hilfe der Neutral-Null-Methode für alle beteiligten Gelenke stattfinden können, jedoch stand dies nicht im Fokus dieser Studie.

Auch eine detailliertere Dokumentation des jeweiligen neurovaskulären Status der Zehen wäre sicherlich in Form eines Reperfusionstests oder der Erfassung der 2-Punkt-Diskrimination bzw. anderer neurologischer Tests möglich gewesen. Es wurde sich jedoch hier, neben der Dokumentation von Ischämien, Nekrosen oder Amputationen sowie neuropathischen Schmerzsyndromen, auf den funktionellen

Kernaspekt des Vorhandenseins eines Schuhkonfliktes vor und nach Intervention zurückgezogen.

Da in dieser Studie sowohl in der MIS- als auch in der OS-Gruppe eine vierwöchige Stellungsretention mittels Kirschnerdrähten durchgeführt wurde, wäre auch eine vergleichende Studie mit Patienten, die eine Redressierung durch Tapeverbände erhalten haben, bezüglich der Funktion von Interesse.

In dieser Arbeit konnte bei 80 von 84 Patienten eine gute bzw. zufriedenstellende Achskorrektur erreicht werden (95,2 %), wobei es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Operationsmethoden gab ($p=0,833$). Daher sind beide Verfahren der Kleinzehenkorrektur als geeignet und verlässlich zu werten.

Lediglich einer der vier unzureichend korrigierten Kleinzehenpatienten war im Untersuchungszeitraum operativ revidiert worden. Von den 95 befragten Patienten beklagten nach durchschnittlich 18 Monaten noch 7 Patienten einen mechanischen Schuhkonflikt (7,37 %), ohne dass die Art der operativen Versorgung einen Ausschlag gab ($p=0,716$).

In seiner umfassenden Arbeit von 2003 sah de Prado für den Bereich der minimal-invasiven Technik die Ursache für ein solches Versagen in technischen Anwenderfehlern bzw. einer osteoporotischen Knochenstruktur [39].

In der Studie von Yassin et al. wurden in der OS-Gruppe bei 6,2 % der Patienten erneute Fehlstellungen, bei 3,3 % ein Malalignment und bei 2,6 % der Fälle ein operativer Revisionsbedarf gesehen. Somit sind diese vergleichbar mit den hiesigen Ergebnissen. In der minimal-invasiven Gruppe wurde bei 2,2 % der Patienten ein residuelles Malalignment festgestellt, jedoch ergab sich bei keinem Patienten die Indikation zur erneuten operativen Korrektur [45].

In der MIS-Gruppe von Mateen et al. wurden 4 Rezidivfehlstellungen erfasst (3,2 %), wohingegen in der OS-Gruppe keinerlei rekurrente Achsabweichungen zu beklagen waren. Aufgrund der Gruppengrößen ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied ($p<0,05$). Auch das erfasste Zeitintervall bezüglich der Rückkehr zur uneingeschränkten Aktivität war mit 10,5 versus 9,9 Wochen in beiden Gruppen vergleichbar [46].

Yeo et al. konnten 2016 im Vergleich der beiden Techniken zur Therapie der Metatarsalgie eine signifikant bessere Beweglichkeit im Grundgelenk nach DMMO im

Gegensatz zur Weil-Osteotomie darlegen ($p=0,043$). Dies war möglicherweise durch die extraartikuläre Osteotomieführung zu begründen ist [47].

Abseits der komparativen Studien konnten im Bereich der offenen Chirurgie Kramer und Kollegen 2015 in ihrer großen retrospektiven Analyse von 2698 Hammerzehenkorrekturen 150 Rezidivfehlstellungen (5,6 %) und 95 Revisionsoperationen (3,5 %) aufzeigen, was geringfügig über dem Anteil der, in dieser Studie nachgewiesenen Rate liegt [51].

Martin et al., welche in ihrer Arbeit eine intramedulläre Schraube zur PIP- und DIP-Fixation nutzten, gaben eine Gesamtrevisionsrate von 6,8 % (11 von 163 Patienten) sowie einen verminderten Anteil an postoperativen Mallet-toe-Fehlstellungen durch diese Methode gegenüber anderen zeitgenössischen Techniken an [69].

Coughlin sah im Jahr 2000 gar 13 % Rezidivfehlstellungen nach offen-chirurgischer Therapie von 118 Hammerzehendeformitäten mittels Resektionsarthroplastik [50]. Ohm dokumentierte 1990 im Rahmen seiner Studie bezüglich der offen-chirurgischen PIP-Arthrodesse zur Korrektur von 62 Hammerzehenfehlstellungen eine postoperative Hypomobilität im MTP-Gelenk in 12 Fällen (19,4 %) [75].

O'Kane et al. hatten in ihrer prospektiven Studie an 100 offen-chirurgischen Kleinzehenkorrekturen in 7 Fällen einen „floating toe“ mit einem Revisionsbedarf in lediglich 2 Fällen zu beklagen [58].

Eine deutliche höhere Rate an postoperativen Fehlstellungen wiesen Harmer und Kollegen aus. 38 Patienten hatten zur Retention einer offen-chirurgischen PIP-Arthrodesse ein intramedulläres Implantat („Toe Grip“) erhalten, wobei nach 6 Monaten in 17,8 % der Fälle ein „floating toe“, in 14,2 % der Fälle eine Malletzehe und in 10,2 % der Fälle eine transversale Abweichung erfasst wurden [72].

Diese Rate an postoperativen Achsabweichungen übertrifft die Fehlstellungsrate sonstiger Studien. Maidmann et al. konnten in ihrer Arbeit aus dem Jahr 2000 zum Zusammenhang zwischen Komorbiditäten und postoperativen Fehlstellungen nach Kleinzehenkorrekturen jedoch nachweisen, dass Nebenerkrankungen (s. o.) mit einem 23,1-fach erhöhten Risiko für eine rekurrente Deformität korreliert sind ($p=0,032$) [70]. Klammer et al. konnten 2012 zeigen, dass es nach 52 offenen Hammerzehenoperationen bei dreiwöchiger Drahteinlage gegenüber einem 6-

wöchigen Drahtverbleib zwar weniger Drahtkomplikationen, aber dagegen mehr Rezidivfehlstellungen und Arthrofibrosen gibt [76].

Im Bereich der minimal-invasiven Chirurgie der Kleinzehen und des Vorfußes konnten Lopez-Vigil und Kollegen 2019 die Ergebnisse von Yeo et al. für die DMMO bestätigen. Auch sie sahen 18 Monate nach DMMO zur Metatarsalgiebehandlung keinerlei Steifheit oder Instabilität am jeweiligen MTP-Gelenk. Sie erklärten sich die 100 %ige Zufriedenheit der Patienten durch die gewünschte Elevierung des Mittelfußkopfes, die verminderte Weichteilbelastung sowie die umgehend umsetzbare Vollbelastung der Patienten [53]. Molenaers und Kollegen erreichten durch die minimal-invasive Korrektur von Schneiderballen in 90 % der Fälle gute oder sehr gute Stellungskorrekturen ohne jedwede Rezidiventwicklung [71].

Frey et al. beschrieben 2015 bei 2 ihrer 54 Patienten mit minimal-invasiver Korrektur von Hammerzehendeformitäten ein Rezidiv mit Revision im Verlauf (3,7 %) [52]. Im gleichen Jahr erschien die Studie von Gilheany und Kollegen, welche bei 179 Patienten mit perkutan korrigierten Kleinzehenfehlstellungen lediglich eine erneute, revisionspflichtige Achsabweichung in 0,7 % der Fälle bot [33].

Somit lagen die klinischen Ergebnisse dieser Studie im Bereich der vorhandenen Vergleichsliteratur und konnten die Rezidivraten teilweise unterschreiten. Daten zu Schuhkonflikten bzw. Narbenstrikturen oder Arthrofibrosen waren jedoch nicht zu erlangen. Die verbliebenen mechanischen Irritationen im Schuhwerk entsprachen in etwa den verbliebenen Fehlstellungen und waren wahrscheinlich hierdurch zu erklären. Insgesamt ließen sich sowohl offen-chirurgisch als auch minimal-invasiv mehrheitlich sehr gute Stellungskorrekturen der Kleinzehen erreichen, so dass dies nach individueller Indikationsstellung je Patient nicht den ausschlaggebenden Faktor zur Wahl des Verfahrens darstellte.

5.2.6 Radiologische Auswertung

Die röntgenologischen Ergebnisse der verschiedenen operativen Maßnahmen wurden durch Erfassung der Stellung der Zehenglieder im Raum mit Dokumentation der Drahtlage postoperativ und auch nach Drahtentfernung (4 Wochen postoperativ) sowie im Intervall von ca. 18 Monaten festgehalten. Zusätzlich wurden im stationären Umfeld der Kontakt der Fusionspartner sowie, im Verlauf, die knöcherne Heilung, aber auch

etwaige Pseudarthrosen dokumentiert. Die Beurteilung erfolgte verblindet. Somit wurden die Kernpunkte des radiologischen Outcomes erfasst.

Zusätzlich hätte auch die Zeit bis zur knöchernen Konsolidierung erfasst werden können, was jedoch zusätzliche, nicht dem Standardvorgehen entsprechende Röntgenaufnahmen notwendig gemacht hätte und aus Strahlenschutzgründen nicht in Frage kam. Auch eine Evaluierung der präoperativen Knochenqualität könnte möglicherweise eine Aussage erbringen, da dies Implikationen zur Wahl des Verfahrens beinhalten kann. Weiterhin nützliche radiologische Daten wären bspw. in Form des Metatarsale-Indexes denkbar, jedoch ist dieser ohnehin ohne schriftliche Erfassung durch den jeweilig operierenden Kollegen beurteilt worden, um alle notwendigen Operationsschritte zu planen. Eine weiterführende Schnittbildgebung ist üblicherweise zur Planung nicht notwendig, könnte jedoch eine noch präzisere Erfassung der Stellung im Raum ermöglichen. Auch dies ist aus strahlenhygienischen und ökonomischen Erwägungen heraus im klinischen Alltag kaum umsetzbar.

In dieser Studie sahen wir bezüglich der röntgenologischen Evaluation keine Unterschiede zwischen den konkurrierenden methodischen Ansätzen der Kleinzehenchirurgie. In zwei von 40 Fällen kam es in der MIS-Gruppe postoperativ zu einem sekundären Repositionsverlust, was wahrscheinlich durch die kurzstreckige Verankerung des Kirschnerdrahtes in der Grundgliedbasis zu begründen ist. Diese Komplikation war hingegen in der OS-Gruppe nicht zu beklagen, da hier die Drahtfixation bis in das jeweilige Os metatarsale erfolgt war ($p=0,140$).

Die dorsoplantare Ausrichtung der korrigierten Kleinzehen war bis auf eine Ausnahme in der minimal-invasiven Gruppe bei allen Patienten als vollständig beurteilt worden, so dass man konstatieren kann, dass beide Operationsmethoden sehr gut zur Versorgung uniplanarer Kleinzehendeformitäten geeignet sind.

Bei 8 von 84 Patienten konnte direkt postoperativ bezüglich der mediolateralen Ausrichtung keine vollständige Korrektur erreicht werden (MIS: 5 Patienten, OS: 3 Patienten bei $p=0,403$).

In 4 Fällen wurde radiologisch eine manifeste Residualfehlstellung dokumentiert. Zwei Fälle zeigten sich in der minimal-invasiven Gruppe und zwei Fälle in der offenchirurgischen Kohorte ($p=0,593$). Dieser Unterschied war statistisch nicht signifikant, dennoch erschien den Operateuren die balancierte offene Grundgelenklösung gegenüber der perkutanen Liberation im operativen Alltag in unserer Klinik

verlässlicher, da subjektiv mehr Optionen zur wirkungsvollen Korrektur bestanden. Erfreulicherweise waren in beiden Gruppen keine knöchernen Dehiszenzen aufgetreten. Während der offen-chirurgischen Versorgung erfolgt in unserer Klinik regelhaft eine visuelle Kontrolle des Knochenkontaktes, so dass bei Bedarf intraoperativ eine Justierung möglich war.

Während der minimal-invasiven Versorgung wurde auf die subtotale Grundgliedosteotomie geachtet, um die dorsale Kortikalis sowie das entsprechende Periost unversehrt zu lassen. Lediglich in zwei Fällen der MIS-Gruppe sahen wir eine partiell extraossäre Drahtlage, was jedoch keinen Einfluss auf die Retention der Korrekturstellung noch die knöchernen Ausheilung bedeutete.

In der radiologischen Verlaufskontrolle nach durchschnittlich 18 Monaten wurde lediglich die Stellung von 4 der 84 beurteilten Patientenzehen (4,8 %) als Rezidiv gewertet. Diese Fälle teilten sich gleichmäßig auf die beiden Vergleichsgruppen auf. In allen 4 Fällen wurde sowohl ein mangelhaftes dorsoplantares als auch mediolaterales Alignment nachgewiesen. Mildere Ausprägungen dieser Abweichungen wurde auch in weiteren Fällen gesehen, führten aber weder zu klinischen Beschwerden noch zum Prädikat „Rezidivfehlstellung“ (siehe Tabelle 16 Seite 57).

Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den radiologischen Ergebnissen der beiden Operationsmethoden konnte nachgewiesen werden, als 6 der 44 Patienten in der OS-Gruppe eine Pseudarthrose aufwiesen und sämtliche Patienten der MIS-Gruppe eine vollständige knöchernen Konsolidierung boten ($p=0,013$). Möglicherweise ist dies ebenfalls durch die vollständige Kontinuitätsunterbrechung bei der offenen Technik und dem verbleibenden Knochenkontakt in der minimal-invasiven Gruppe zu erklären. Aber auch die ggfs. abweichende Weichteilkompromittierung und die entsprechende Gefäßversorgung der jeweiligen anatomischen Region könnte eine Rolle spielen.

Insgesamt sehen wir jedoch ein hohes Maß an Korrekturpotenzial für beide Techniken, was sich in einer hohen Patientenzufriedenheit widerspiegelt. Hierbei sind Pseudarthrosen der PIP-Gelenke klinisch oft inapparent und nur vereinzelt verantwortlich für Rezidivfehlstellungen oder anhaltende Schmerzen.

Mateen et al erfassten in o. g. komparativer Studie eine mittlere Zeitspanne von 8.8 ± 2.3 Wochen bis zur knöchernen Ausheilung in der MIS-Gruppe und 8.4 ± 2.3 Wochen

in der OS-Gruppe ($p=0,065$), wobei es in erstgenannter Subgruppe in 4 Fällen zur erneuten Ausbildung einer Hammerzehenformität kam und in der offen-chirurgischen Gruppe keinerlei Rezidive auffällig wurden [46].

In der ebenfalls vergleichenden Studie von Yassin und Kollegen wurde für die OS-Gruppe eine Malalignmentrate von 3,3 % erfasst, wobei sich insgesamt keine statistische Abweichung gegenüber der minimal-invasiv versorgten Hammerzehenformitäten ergab [45].

Yeo und Kollegen hatten 2016 die DMMO mit der Weil-Osteotomie zur Behandlung der Metatarsalgie verglichen und konnten für sämtliche Patienten ihrer Studie eine knöcherne Ausheilung nach 6 Monaten aufzeigen. Die große Mehrheit hatte bereits nach 2 Monaten eine Konsolidierung gezeigt [47].

Im Gegensatz dazu veröffentlichte Coughlin im Jahr 2000 nach 118 offenen PIP-Resektionsarthroplastiken zur Hammerzehenkorrektur eine knöcherne Konsolidierungsrate von 81 %. Die übrigen 19 % wiesen eine fibröse Heilung auf [17].

Die o. g. Studie von Ohm und Kollegen von 1990 zur offen-chirurgischen PIP-Arthrodese durch End-zu-End-Kontaktierung führte bei allen 63 Patienten zur knöchernen Fusion [75].

Lehmann et al wiesen in einer ähnlichen Studie von 1995 eine 95 %ige Fusionsrate aus [57]. Caterini und Kollegen konnten 2004 mittels intramedullärer Schraubenosteosynthese 48 von 51 Patienten nach offener Hammerzehenkorrektur zur knöchernen Ausheilung bringen und verzeichneten lediglich einen Schraubenbruch [66]. Auch Cicchinelli erreichte per Retention mit biointegrativem intramedullärem Implantat zur PIP-Arthrodese bei Hammerzehenfehlstellungen in 88 % der Fälle eine stabile knöcherne Fusion, wobei klinisch in 100 % der Fälle eine ausreichende Stabilität vorlag [56].

In der 2023 von Connors et al. veröffentlichten retrospektiven Analyse von 100 Patienten mit offen-chirurgischer PIP-Arthrodese und K-Draht-Transfixation sowie zusätzlicher extramedullärer Retention durch ein speziell entwickeltes Implantat wurde eine Konsolidierungsrate von 94% nach durchschnittlich 8,8 Wochen erreicht [77].

Im Bereich der minimal-invasiven Kleinzehen- und Vorfußchirurgie liegen ebenfalls einige Studien zu radiologischen Ergebnissen vor. Lopez-Vigil und Kollegen hatten 2019 bei 30 durchgeführten DMMOs keine verspätete oder ausbleibende

Knochenheilung zu berichten [53]. Hingegen sahen Haque et al. ebenfalls im Rahmen von 30 distalen minimal-invasiven Metatarsale-Osteotomien eine mangelnde und eine ausbleibende knöcherne Konsolidierung sowie eine Weichteilossifikation [54].

Unter der minimal-invasiven Korrektur von 42 Schneiderballen kam es in der Studie von Ferreira und Kollegen aus dem Jahr 2020 in zwei Fällen zu einer Nichtvereinigung der Knochenenden [62]. Die gleiche Technik führte bei Molenaers 2017 bei 20 perkutan versorgten Schneiderballen zu keinerlei ossären Heilungsstörungen [71].

Die umfangreichere o. g. Studie von Gilheany et als an 179 MIS-Patienten ergab radiologisch im Verlauf eine verzögerte Knochenheilung in 0,7 % der Behandlungen [33]. Nieto-García untersuchte 2019 retrospektiv die minimal-invasive Versorgung von 556 Hammerzehen und verglich die Ergebnisse mit und ohne perkutane Tenotomien. Es wurden bei zusätzlich durchgeführter Sehnendurchtrennung signifikant mehr Kortikalisbrüche und im Verlauf vermehrt hypertrophe Callusbildung sowie Pseudarthrosen nachgewiesen [41].

Daten zu radiologischen Ergebnissen mit Erfassung von dreidimensionalen Stellungsergebnissen nach Kleinzehenkorrekturen sind rar [45], [46], [48], jedoch erscheint gemäß unserer Daten die mediolaterale Stellungskorrektur eine größere Herausforderung zu sein als die dorsoplantare Ausrichtung der Zehenglieder.

Ein wegweisender Unterschied zwischen den Operationstechniken bezüglich der radiologischen Achskorrektur war nicht nachweisbar, da in der großen Mehrzahl der Eingriffe gute bis sehr gute Achskorrekturen erreicht werden.

Bei der minimal-invasiven Technik schien sowohl in unserer als auch in vergleichbaren Studien eine äußerst geringe Rate an Knochenheilungsstörungen vorzuliegen. Auch für die offene Chirurgie der Kleinzehen war mit o.g. Einschränkungen eine hohe Ausheilungsquote nachgewiesen worden.

Zusammenfassend lassen sich mit beiden operativen Methoden gute bis sehr gute radiologische Ergebnisse erzielen, ohne dass eine Technik vorzuziehen ist. Nichtsdestotrotz gilt, ebenso wie bei der Weichteilheilung, vor allem der schonenden operativen Technik das entsprechende Augenmerk zu widmen, um neurovaskuläre Kollateralschäden zu minimieren und somit eine adäquate Gefäßversorgung der operierten Zehe zu gewährleisten. Bei der Nutzung oszillierender oder rotierender Instrumente ist dringlich auf die Vermeidung einer zu starken Temperaturentwicklung

zu achten. Außerdem sollten die Behandler in der Lage sein, mögliche Komplikationen zeitnah zu erkennen und sie sicher konservativ sowie operativ zu beherrschen.

6. ZUSAMMENFASSUNG

In dieser prospektiven, monozentrischen, klinischen, randomisierten Studie wurden die Verfahrenssicherheit, die subjektive Zufriedenheit, die objektiven funktionalen und klinischen Ergebnisse sowie das radiologische Outcome im perioperativen Verlauf von offen-chirurgisch und minimal-invasiv durchgeführten Kleinzehenkorrekturen dargestellt, analysiert und verglichen. Dabei sollten etwaige statistisch signifikante und ggfs. klinisch relevante Unterschiede bezüglich der Operationsmethoden aufgedeckt werden. Zudem wurde neben dem gesamten Patientenkollektiv, inklusive zusätzlich durchgeführter Vor-, Mittel- und Rückfußkorrekturen, auch die Kohorte der solitären Kleinzehenoperation gesondert ausgewertet.

Insgesamt konnte im gesamten Patientenkollektiv eine hohe Verfahrenssicherheit mit gewissen Vorteilen zugunsten der minimal-invasiven Technik bei insgesamt sehr hoher Patientenzufriedenheit nachgewiesen werden. Davon zeugten auch die funktionellen, klinischen und röntgenologischen Ergebnisse. Es kam zwar zu mehr Knochenheilungsstörungen in der Gruppe der klassischen offenen Chirurgie, welche im Gegenzug jedoch kaum einen Einfluss auf die Korrekturstellung oder die alltägliche Nutz- und Belastbarkeit der jeweiligen Vorfüße hatte. Diese Ergebnisse konnten grundsätzlich auch in der Gruppe der isolierten Kleinzehenkorrekturen bestätigt werden, wobei die geringe Gruppengröße nicht ein abschließendes Urteil erlaubt.

Somit sollte die Operationsindikation, die gewählte Technik und das Nachbehandlungskonzept hinsichtlich des biologischen Status, der Mitarbeit des Patienten und der Erfahrung des Operateurs mit der gewählten Technik individuell auf den Einzelnen abgestimmt werden.

Zusammenfassend verfügten beide untersuchten Konzepte der Kleinzehenchirurgie über ein gutes Verhältnis zwischen Risiko und Nutzen und konnten so die Mobilität sowie die Teilhabe der Menschen am Alltag bereichern.

Im internationalen Vergleich mangelt es, trotz der Häufigkeit der symptomatischen Kleinzehenfehlstellungen, noch an großen multizentrischen Studien, um diese Erkenntnis zu untermauern, jedoch wurde mit dieser Arbeit ein Fundament gelegt.

7. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Muskulatur und Motorik der Kleinzehen	12
Tabelle 2: häufige Kleinzehenfehlstellungen und ihre Charakteristika	15
Tabelle 3: Einteilung Crossover Toe nach Haddad	17
Tabelle 4: Indikationen in der Kleinzehenchirurgie	32
Tabelle 5: Kontraindikationen in der Kleinzehenchirurgie	33
Tabelle 6: Einteilung postoperativer Komplikationen nach Dindo und Clavien	35
Tabelle 7: Übersicht der versorgten Kleinzehendeformitäten	43
Tabelle 8: klinische Komplikationen der Kleinzehenchirurgie	47
Tabelle 9: subjektive Ergebnisse postoperativ unter stationären Bedingungen	48
Tabelle 10: subjektive Ergebnisse im Langzeitintervall	50
Tabelle 11: fußschmerzhafte Tage innerhalb der vergangenen Woche	51
Tabelle 12: Gesamtscore FFI-D nach Operationsmethode	52
Tabelle 13: Übersicht FFI-D vor und nach Operation Vergleich MIS-OS	54
Tabelle 14: klinische Korrektur der Kleinzehen	55
Tabelle 15: postoperative radiologische Evaluation	56
Tabelle 16: radiologische Evaluation im Follow-up	58
Tabelle 17: AOFAS-Scores der Studie von Yeo et al	78

8. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: klinischer und radiologischer Aspekt einer Krallenzehe Digitus pedis II	16
Abb. 2: klinischer und radiologischer Aspekt eines Crossover Toes Digitus pedis II	17
Abb. 3: offene Kleinzechenchirurgie Schritt 1 - 3.....	23
Abb. 4: offene Kleinzechenchirurgie Schritt 4 - 6.....	24
Abb. 5: offene Kleinzechenchirurgie Schritt 7 und 8.....	25
Abb. 6: MIS-Instrumentarium.....	28
Abb. 7: minimal-invasive Kleinzechenchirurgie Schritt 1 – 4	31
Abb. 8: Altersverteilung nach Geschlecht.....	42
Abb. 9: Schmerztage aller Patienten	51
Abb. 10: Gesamtscore des FFI-D nach Operationsmethode	52
Abb. 11: FFI-D Schmerzscore nach Operationsmethode	53
Abb. 12: FFI-D Funktionssscore nach Operationsmethode	53

9. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AOFAS	American Orthopaedic Foot and Ankle Society
COPD	chronisch-obstruktive Lungenerkrankung
CORA	center of rotation and angulation
CT	Computertomografie
DIP	distales Interphalangealgelenk
DMMO	distale minimal-invasive Metatarsaleosteotomie
EDB	M. extensor digitorum brevis
EFAS	European Foot and Ankle Society
ESWT	extrakorporale Stoßwellentherapie
EDL	M. extensor digitorum longus
FDB	M. flexor digitorum brevis
FDL	M. flexor digitorum longus
FFI-D	Fuß-Funktions-Index Deutschland
KHK	koronare Herzerkrankung
KI	Konfidenzintervall
MOXFQ	Manchester-Oxford Foot Questionnaire
MRT	Magnetresonanztomografie
MTP	Metatarsophalangealgelenk
MW	Mittelwert
OS	open surgery – offene Chirurgie
OSG	oberes Sprunggelenk
PAVK	periphere arterielle Verschlusskrankheit
PIP	proximales Interphalangealgelenk
PROM	patient reported outcome measurement
SD	standard deviation, Standardabweichung
USG	unteres Sprunggelenk

10. DANKSAGUNG

Meinen großen Dank möchte ich all denen aussprechen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Herrn Prof. Dr. med. Thomas Mittlmeier möchte ich für die umfangreiche Unterstützung und Bearbeitung des Themas danken, ganz besonders für die hervorragende Betreuung und die jederzeit gewährte Hilfe. Für die offene Zusammenarbeit während der gesamten Zeit bin ich besonders dankbar.

Frau Dr. med. Angela Simon sowie Herrn Claus Meyer-Probst danke ich ganz herzlich für ihre klinische Unterstützung und auch die Evaluation der radiologischen Ergebnisse.

Frau Dr. med. Angelina Garkisch danke ich für ihre wertvolle und geschätzte Mithilfe im Rahmen der statistischen Auswertung.

Ebenso danke ich meiner Frau Susanne, die mir sowohl in formalen Fragen als auch privat allzeit eine große Hilfe war. Zusammen mit meiner Tochter Ellena ist sie der Mittelpunkt meines Lebens und der Antrieb für all mein Tun.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir das Studium der Medizin erst ermöglichten und mir immer mit Rat und Tat zur Seite standen.

11. LEBENS LAUF

Persönliche Daten

Name, Vorname	Weigang, Benjamin
Geburtsdatum	19. Juli 1985
Geburtsort	Greifswald
Familienstand	verheiratet, eine Tochter
Staatsangehörigkeit	deutsch

Schule und Studium

1992 -1997	Grundschule Goetheschule Waren (Müritz)
1996 – 2005	Richard-Wossidlo-Gymnasium Waren (Müritz) mit Erlangung des Abiturs
04/2006	Beginn des Medizinstudiums an der Charité- Universitätsmedizin Berlin
03/2008	Absolvierung des 1. Staatsexamen an der Charité Berlin
2008/9	Arbeit als medizinische Sitzwache in diversen Einrichtungen der Charité Berlin
09/2009	Famulatur in der Klinik für Dermatologie der Charité CCM Berlin
02/2010	Famulatur in der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie der Charité CCM Berlin
03/2010	Famulatur in der dermatologischen Praxis Dr. Aja Klemm Berlin
09/2010	Famulatur in der Klinik für Plastische Chirurgie Frauenfeld, Schweiz
06/2012	Absolvierung des 2. Staatsexamen an der Charité Berlin
07/2012	Approbation als Arzt

Beruflicher Werdegang

11/2012 – 12/2013	Assistenzarzt in der Abteilung für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie Vivantes Friedrichshain Berlin
01/2014 – 03/2014	Elternzeit
seit 04/2014	Assistenzarzt in der Klinik für Chirurgie und im Verlauf der Orthopädie und Unfallchirurgie der Maria Heimsuchung Caritas-Klinik Pankow
06/2019 – 12/2019	Facharzt in der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie der Maria Heimsuchung Caritas-Klinik Pankow
01/2020 – 08/2020	Facharzt in der Klinik für orthopädische Fuß- und Sprunggelenkchirurgie des Dietrich-Bonhoeffer-Klinikums der Diakonie am Standort Malchin
Seit 09/2020	Oberarzt in der Klinik für orthopädische Fuß- und Sprunggelenkchirurgie des Dietrich-Bonhoeffer-Klinikums der Diakonie am Standort Malchin

12. SCHRIFTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre hiermit, dass ich die der Universitätsmedizin Rostock zur Promotionsprüfung eingereichte Dissertation mit dem Titel „Verfahrensvergleich in der operativen Therapie der Kleinzehendeformitäten: minimal-invasiv versus offen-chirurgisch“ in der Klinik für orthopädische Fuß- und Sprunggelenkchirurgie der Diakonie Malchin unter Betreuung und Anleitung von Prof. Dr. med. Thomas Mittlmeier aus der chirurgischen Klinik und Poliklinik der Universitätsmedizin Rostock Abteilung für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keiner in- oder ausländischen Universität ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht. Die vorliegende Arbeit wurde bisher nicht als Dissertation eingereicht.

13. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] D. Arbab, B. Bouillon, und C. Lüring, „Degenerative Erkrankungen des Vorfußes – Kleinzehefehlstellungen“, *Orthop. Unfallchirurgie Up2date*, Bd. 11, Nr. 05, S. 351–373, Sep. 2016, doi: 10.1055/s-0042-105585.
- [2] C. Saro, A.-S. Bengtsson, U. Lindgren, J. Adami, P. Blomqvist, und L. Felländer-Tsai, „Surgical Treatment of Hallux Valgus and Forefoot Deformities in Sweden: A Population-Based Study“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 29, Nr. 3, S. 298–304, März 2008, doi: 10.3113/FAI.2008.0298.
- [3] D. Pomarino, J. Ramírez Llamas, S. Martin, und A. Pomarino, „Literature Review of Idiopathic Toe Walking: Etiology, Prevalence, Classification, and Treatment“, *Foot Ankle Spec.*, Bd. 10, Nr. 4, Art. Nr. 4, Aug. 2017, doi: 10.1177/1938640016687370.
- [4] A. Haskell und M. J. Coughlin, *Coughlin and Mann’s Surgery of the Foot and Ankle, 2-Volume Set, 10th Edition*, 10. Aufl. Elsevier, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.us.elsevierhealth.com/coughlin-and-manns-surgery-of-the-foot-and-ankle-2-volume-set-9780323833844.html>
- [5] J. K. Ellington, „Hammertoes and Clawtoes: Proximal Interphalangeal Joint Correction“, *Curr. Manag. Lesser Toe Disord.*, Bd. 16, Nr. 4, S. 547–558, Dez. 2011, doi: 10.1016/j.fcl.2011.08.010.
- [6] L. Klenerman und B. A. Wood, *The human foot : a companion to clinical studies*, 1 online resource (ix, 182 pages) : illustrations Bde. London: Springer London, 2006. [Online]. Verfügbar unter: <http://library.umassmed.edu/ebooks/ebooksredirect.cfm?ID=385>
- [7] *Prometheus. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem: 100 Tabellen*. Stuttgart: Thieme, 2005.
- [8] S. T. Grambart, „Hibbs Tenosuspension.“, *Clin. Podiatr. Med. Surg.*, Bd. 33, Nr. 1, Art. Nr. 1, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.cpm.2015.07.001.
- [9] N. Hamada, Y. Ikuta, und A. Ikeda, „Arteriographic study of the arterial supply of the foot in one hundred cadaver feet.“, *Acta Anat. (Basel)*, Bd. 151, Nr. 3, Art. Nr. 3, 1994, doi: 10.1159/000147664.
- [10] A. Zech, „[The influence of footwear on the human gait].“, *Orthopadie Heidelb. Ger.*, Bd. 52, Nr. 8, Art. Nr. 8, Aug. 2023, doi: 10.1007/s00132-023-04407-0.
- [11] J. H. Hicks, „The mechanics of the foot. II. The plantar aponeurosis and the arch.“, *J. Anat.*, Bd. 88, Nr. 1, Art. Nr. 1, Jan. 1954.
- [12] J. H. Hicks, „The foot as a support.“, *Acta Anat. (Basel)*, Bd. 25, Nr. 1, S. 34–45, 1955, doi: 10.1159/000141055.
- [13] G. D. Stainsby, „Pathological anatomy and dynamic effect of the displaced plantar plate and the importance of the integrity of the plantar plate-deep transverse metatarsal ligament tie-bar.“, *Ann. R. Coll. Surg. Engl.*, Bd. 79, Nr. 1, S. 58–68, Jan. 1997.
- [14] K. Malhotra, K. Davda, und D. Singh, „The pathology and management of lesser toe deformities.“, *EFORT Open Rev.*, Bd. 1, Nr. 11, S. 409–419, Nov. 2016, doi: 10.1302/2058-5241.1.160017.
- [15] G. Domínguez-Maldonado, P. V. Munuera-Martínez, J. M. Castillo-López, J. Ramos-Ortega, und M. Albornoz-Cabello, „Normal values of metatarsal parabola arch in male and female feet.“, *ScientificWorldJournal*, Bd. 2014, S. 505736, 2014, doi: 10.1155/2014/505736.

-
- [16] D. J. Morton, „Structural factors in static disorders of the foot“, *Am. J. Surg.*, Bd. 9, Nr. 2, Art. Nr. 2, Aug. 1930, doi: 10.1016/S0002-9610(30)91100-2.
- [17] M. J. Coughlin, „Common causes of pain in the forefoot in adults.“, *J. Bone Joint Surg. Br.*, Bd. 82, Nr. 6, Art. Nr. 6, Aug. 2000, doi: 10.1302/0301-620x.82b6.11422.
- [18] M. S. Myerson und M. J. Shereff, „The pathological anatomy of claw and hammer toes.“, *J. Bone Joint Surg. Am.*, Bd. 71, Nr. 1, Art. Nr. 1, Jan. 1989.
- [19] A. J. Kaz und M. J. Coughlin, „Crossover second toe: demographics, etiology, and radiographic assessment.“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 28, Nr. 12, Art. Nr. 12, Dez. 2007, doi: 10.3113/FAI.2007.1223.
- [20] M. J. Coughlin, „Subluxation and dislocation of the second metatarsophalangeal joint.“, *Orthop. Clin. North Am.*, Bd. 20, Nr. 4, Art. Nr. 4, Okt. 1989.
- [21] M. J. Coughlin, „Lesser toe deformities.“, *Orthopedics*, Bd. 10, Nr. 1, S. 63–75, Jan. 1987, doi: 10.3928/0147-7447-19870101-13.
- [22] R. Sweetnam, „Congenital CurlyY toes an investigation into the value of treatment.“, *Orig. Publ. Vol. 2 Issue 7043*, Bd. 272, Nr. 7043, Art. Nr. 7043, Aug. 1958, doi: 10.1016/S0140-6736(58)90115-6.
- [23] S. F. Boc und J. D. Martone, „Varus toes: A review and case report“, *J. Foot Ankle Surg.*, Bd. 34, Nr. 2, Art. Nr. 2, März 1995, doi: 10.1016/S1067-2516(09)80050-1.
- [24] R. W. Haines und A. McDougall, „The anatomy of hallux valgus.“, *J. Bone Joint Surg. Br.*, Bd. 36-B, Nr. 2, Art. Nr. 2, Mai 1954, doi: 10.1302/0301-620X.36B2.272.
- [25] C. Hase, „Die orthopädische Untersuchung des ausgewachsenen Fußes“, *Orthop. Unfallchirurgie Up2date*, Bd. 10, Nr. 06, Art. Nr. 06, Nov. 2015, doi: 10.1055/s-0041-102862.
- [26] R. Liston, „On the Cure of Exostosis of the Last Phalanges of the Toes by Excision of the Diseased Bone.“, *Edinb. Med. Surg. J.*, Bd. 26, Nr. 88, Art. Nr. 88, Juli 1826.
- [27] G. Hohmann, „Der Hallux valgus und die übrigen Zehenverkrümmungen.“, *Ergeb. Chir. Orthop.*, Nr. 18, Art. Nr. 18, 1925.
- [28] J. Breiffelder, A. Rütt, H. Rettig, und K. Schlegel, *Orthopädie und Praxis und Klinik. Zehendeformitäten.*, 3. Aufl., Bd. VII. Stuttgart: Thieme, 1985.
- [29] G. R. Girdlestone, „Physiotherapy for hand and foot.“, *Physiotherapy*, Bd. 32, Nr. 11, Art. Nr. 11, Mai 1947.
- [30] L. Dodd, M. Atinga, J. Foote, und S. Palmer, „Outcomes after the Stainsby Procedure in the Lesser Toes: An Alternative Procedure for the Correction of Rigid Claw Toe Deformity“, *J. Foot Ankle Surg.*, Bd. 50, Nr. 5, S. 522–524, 2011, doi: <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2011.05.001>.
- [31] D. K. Monson, T. R. Buell, und B. L. Scurran, „Lesser digital arthrodesis.“, *Clin. Podiatr. Med. Surg.*, Bd. 3, Nr. 2, S. 347–356, Apr. 1986.
- [32] J. C. Schrier, N. L. Keijsers, G. A. Matricali, J. W. K. Louwerens, und C. C. P. M. Verheyen, „Lesser Toe PIP Joint Resection Versus PIP Joint Fusion: A Randomized Clinical Trial.“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 37, Nr. 6, Art. Nr. 6, Juni 2016, doi: 10.1177/1071100716629776.
- [33] M. Gilheany, O. Baarini, und D. Samaras, „Minimally invasive surgery for pedal digital deformity: an audit of complications using national benchmark indicators.“, *J. Foot Ankle Res.*, Bd. 8, S. 17, 2015, doi: 10.1186/s13047-015-0073-x.
-

-
- [34] J. A. Wendelstein, P. Goger, P. Bock, R. Schuh, P. Doz, und H.-J. Trnka, „Bioabsorbable Fixation Screw for Proximal Interphalangeal Arthrodesis of Lesser Toe Deformities.“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 38, Nr. 9, Art. Nr. 9, Sep. 2017, doi: 10.1177/1071100717711925.
- [35] M. Polokoff, „Raspostectomy. Reduction of exostoses and hypertrophied condyles with files and rasps.“, *J. Am. Podiatry Assoc.*, Bd. 52, S. 599–602, Aug. 1962.
- [36] L. Hymes, „History of modern operative podiatry“, *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.*, Bd. 64, Nr. 5, Art. Nr. 5, Mai 1974, doi: 10.7547/87507315-64-5-364.
- [37] S. Isham und O. Nunez, „Isham Hammertoe Procedures for the Correction of Lesser Digital Deformities“, in *Minimally Invasive Forefoot Surgery in Clinical Practice*, 2011, S. 171–183. doi: 10.1007/978-1-84996-417-3_13.
- [38] P. Bösch, S. Wanke, und R. Legenstein, „Hallux valgus correction by the method of Bösch: a new technique with a seven-to-ten-year follow-up.“, *Foot Ankle Clin.*, Bd. 5, Nr. 3, Art. Nr. 3, Sep. 2000.
- [39] M. de Prado, P. L. Ripoll, und P. Golano, *Cirugia percutanea del pie. Tecnicas quirurgicas. Indicaciones. Bases anatomicas*. Elsevier-Masson, 2003.
- [40] D. Redfern, J. Vernois, und B. P. Legré, „Percutaneous Surgery of the Forefoot“, *Clin. Podiatr. Med. Surg.*, Bd. 32, Nr. 3, Art. Nr. 3, Juli 2015, doi: 10.1016/j.cpm.2015.03.007.
- [41] E. Nieto-García, J. Ferrer-Torregrosa, L. Ramírez-Andrés, E. Nieto-González, A. Martínez-Nova, und C. Barrios, „The impact of associated tenotomies on the outcome of incomplete phalangeal osteotomies for lesser toe deformities“, *J. Orthop. Surg.*, Bd. 14, Nr. 1, Art. Nr. 1, Dez. 2019, doi: 10.1186/s13018-019-1353-0.
- [42] D. J. Lee, J. Y. Choi, H. S. Kim, und J. S. Suh, „Minimally invasive correction for symptomatic, fixed curly toe deformity.“, *Foot Ankle Surg. Off. J. Eur. Soc. Foot Ankle Surg.*, Bd. 27, Nr. 1, Art. Nr. 1, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.fas.2020.02.005.
- [43] D. Dindo, N. Demartines, und P.-A. Clavien, „Classification of surgical complications: a new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey.“, *Ann. Surg.*, Bd. 240, Nr. 2, Art. Nr. 2, Aug. 2004, doi: 10.1097/01.sla.0000133083.54934.ae.
- [44] F. D. Naal, F. M. Impellizzeri, M. Huber, und P. F. Rippstein, „Cross-cultural adaptation and validation of the Foot Function Index for use in German-speaking patients with foot complaints.“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 29, Nr. 12, Art. Nr. 12, Dez. 2008, doi: 10.3113/FAI.2008.1222.
- [45] M. Yassin, A. Garti, E. Heller, und D. Robinson, „Hammertoe Correction With K-Wire Fixation Compared With Percutaneous Correction.“, *Foot Ankle Spec.*, Bd. 10, Nr. 5, Art. Nr. 5, Okt. 2017, doi: 10.1177/1938640016681069.
- [46] S. Mateen, S. Raja, D. J. Casciato, und N. A. Siddiqui, „Minimally Invasive Versus Open Hammertoe Correction: A Retrospective Comparative Study.“, *J. Foot Ankle Surg. Off. Publ. Am. Coll. Foot Ankle Surg.*, Bd. 63, Nr. 2, S. 156–160, Apr. 2024, doi: 10.1053/j.jfas.2023.09.014.
- [47] N. E. M. Yeo, B. Loh, J. Y. Chen, A. K. S. Yew, und S. Y. Ng, „Comparison of early outcome of Weil osteotomy and distal metatarsal mini-invasive osteotomy for lesser toe metatarsalgia.“, *J. Orthop. Surg. Hong Kong*, Bd. 24, Nr. 3, S. 350–353, Dez. 2016, doi: 10.1177/1602400315.
- [48] M. Thomas und M. Jordan, „Minimal-invasive Korrektur von Deformitäten der Kleinzehe und Behandlung der Metatarsalgie“, *Oper. Orthop. Traumatol.*, Bd.
-

-
- 30, Nr. 3, S. 171–183, Juni 2018, doi: 10.1007/s00064-018-0548-6.
- [49] J. C. M. Schrier, C. C. P. M. Verheyen, und J. W. Louwerens, „Definitions of hammer toe and claw toe: an evaluation of the literature.“, *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.*, Bd. 99, Nr. 3, S. 194–197, Juni 2009, doi: 10.7547/0980194.
- [50] M. J. Coughlin, J. Dorris, und E. Polk, „Operative repair of the fixed hammertoe deformity.“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 21, Nr. 2, Art. Nr. 2, Feb. 2000, doi: 10.1177/107110070002100202.
- [51] W. C. Kramer, M. Parman, und R. M. Marks, „Hammertoe correction with k-wire fixation.“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 36, Nr. 5, Art. Nr. 5, Mai 2015, doi: 10.1177/1071100714568013.
- [52] S. Frey, M. Hélix-Giordanino, und B. Piclet-Legré, „Percutaneous correction of second toe proximal deformity: Proximal interphalangeal release, flexor digitorum brevis tenotomy and proximal phalanx osteotomy“, *Orthop. Traumatol. Surg. Res.*, Bd. 101, Nr. 6, S. 753–758, Okt. 2015, doi: 10.1016/j.otsr.2015.06.009.
- [53] M. Lopez-Vigil, S. Suarez-Garnacho, V. Martín, C. Naranjo-Ruiz, und C. Rodriguez, „Evaluation of results after distal metatarsal osteotomy by minimal invasive surgery for the treatment of metatarsalgia: patient and anatomical pieces study.“, *J. Orthop. Surg.*, Bd. 14, Nr. 1, S. 121, Mai 2019, doi: 10.1186/s13018-019-1159-0.
- [54] S. Haque, R. Kakwani, C. Chadwick, M. B. Davies, und C. M. Blundell, „Outcome of Minimally Invasive Distal Metatarsal Metaphyseal Osteotomy (DMMO) for Lesser Toe Metatarsalgia.“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 37, Nr. 1, S. 58–63, Jan. 2016, doi: 10.1177/1071100715598601.
- [55] F. Catena, J. F. Doty, J. Jastifer, M. J. Coughlin, und F. Stevens, „Prospective study of hammertoe correction with an intramedullary implant.“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 35, Nr. 4, Art. Nr. 4, Apr. 2014, doi: 10.1177/1071100713519780.
- [56] L. D. Cicchinelli, J. Štalc, M. Richter, und S. Miller, „Prospective, Multicenter, Clinical and Radiographic Evaluation of a Biointegrative, Fiber-Reinforced Implant for Proximal Interphalangeal Joint Arthrodesis.“, *Foot Ankle Orthop.*, Bd. 5, Nr. 4, S. 2473011420966311, Okt. 2020, doi: 10.1177/2473011420966311.
- [57] D. E. Lehman und R. W. Smith, „Treatment of symptomatic hammertoe with a proximal interphalangeal joint arthrodesis.“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 16, Nr. 9, S. 535–541, Sep. 1995, doi: 10.1177/107110079501600904.
- [58] C. O’Kane und T. Kilmartin, „Review of proximal interphalangeal joint excisional arthroplasty for the correction of second hammer toe deformity in 100 cases.“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 26, Nr. 4, Art. Nr. 4, Apr. 2005, doi: 10.1177/107110070502600408.
- [59] S. H. Richman, M. B. P. Siqueira, K. A. McCullough, und M. J. Berkowitz, „Correction of Hammertoe Deformity With Novel Intramedullary PIP Fusion Device Versus K-Wire Fixation.“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 38, Nr. 2, Art. Nr. 2, Feb. 2017, doi: 10.1177/1071100716671883.
- [60] J. Y. Choi, H. J. Park, und J. S. Suh, „Operative Treatment for Fourth Curly Toe Deformity in Adults.“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 36, Nr. 9, Art. Nr. 9, Sep. 2015, doi: 10.1177/1071100715579758.
- [61] H. A. Martijn, I. N. Sierevelt, S. Wassink, und P. A. Nolte, „Fifth Metatarsal Osteotomies for Treatment of Bunionette Deformity: A Meta-Analysis of Angle Correction and Clinical Condition.“, *J. Foot Ankle Surg. Off. Publ. Am. Coll. Foot Ankle Surg.*, Bd. 57, Nr. 1, S. 140–148, Feb. 2018, doi: 10.1053/j.jfas.2017.08.006.
-

-
- [62] G. F. Ferreira, T. F. Dos Santos, D. Oksman, und M. V. Pereira Filho, „Percutaneous Oblique Distal Osteotomy of the Fifth Metatarsal for Bunionette Correction.“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 41, Nr. 7, S. 811–817, Juli 2020, doi: 10.1177/1071100720917906.
- [63] B. Molenaers, J. Vanlommel, und P. Deprez, „Percutaneous hardware free corrective osteotomy for bunionette deformity.“, *Acta Orthop. Belg.*, Bd. 83, Nr. 2, S. 284–291, Juni 2017.
- [64] T. H. Lui, „Correction of crossover deformity of second toe by combined plantar plate tenodesis and extensor digitorum brevis transfer: a minimally invasive approach.“, *Arch. Orthop. Trauma Surg.*, Bd. 131, Nr. 9, S. 1247–1252, Sep. 2011, doi: 10.1007/s00402-011-1293-6.
- [65] J. C. McKenzie u. a., „Incidence and Risk Factors for Pin Site Infection of Exposed Kirschner Wires Following Elective Forefoot Surgery.“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 40, Nr. 10, S. 1154–1159, Okt. 2019, doi: 10.1177/1071100719855339.
- [66] R. Caterini, P. Farsetti, U. Tarantino, V. Potenza, und E. Ippolito, „Arthrodesis of the toe joints with an intramedullary cannulated screw for correction of hammertoe deformity.“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 25, Nr. 4, S. 256–261, Apr. 2004, doi: 10.1177/107110070402500411.
- [67] J. A. Wendelstein, P. Goger, P. Bock, R. Schuh, P. Doz, und H.-J. Trnka, „Bioabsorbable Fixation Screw for Proximal Interphalangeal Arthrodesis of Lesser Toe Deformities.“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 38, Nr. 9, S. 1020–1025, Sep. 2017, doi: 10.1177/1071100717711925.
- [68] E. M. Ingall, M. P. Michalski, P. Joo, C. W. DiGiovanni, D. B. Thordarson, und J. Y. Kwon, „The Ischemic toe following forefoot surgery: A review of current practices and a proposed approach for management“, *Foot Ankle Surg.*, Bd. 27, Nr. 7, S. 723–729, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fas.2020.09.015>.
- [69] H. R. Martin und A. R. Kadakia, „Patient-Reported Outcome Measurement Information System Measures for Proximal Interphalangeal Joint Arthrodesis in Lesser Toe Deformities.“, *Foot Ankle Spec.*, S. 19386400231208518, Nov. 2023, doi: 10.1177/19386400231208518.
- [70] S. D. Maidman u. a., „Comorbidities Associated With Poor Outcomes Following Operative Hammertoe Correction in a Geriatric Population.“, *Foot Ankle Orthop.*, Bd. 5, Nr. 4, S. 2473011420946726, Okt. 2020, doi: 10.1177/2473011420946726.
- [71] B. Molenaers, J. Vanlommel, und P. Deprez, „Percutaneous hardware free corrective osteotomy for bunionette deformity.“, *Acta Orthop. Belg.*, Bd. 83, Nr. 2, S. 284–291, Juni 2017.
- [72] J. L. Harmer, A. Wilkinson, und A. J. Maher, „A Midterm Review of Lesser Toe Arthrodesis With an Intramedullary Implant.“, *Foot Ankle Spec.*, Bd. 10, Nr. 5, S. 458–464, Okt. 2017, doi: 10.1177/1938640017704943.
- [73] J. F. Baumhauer, D. A. Nawoczenski, B. F. DiGiovanni, und G. E. Wilding, „Reliability and validity of the American Orthopaedic Foot and Ankle Society Clinical Rating Scale: a pilot study for the hallux and lesser toes.“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 27, Nr. 12, S. 1014–1019, Dez. 2006, doi: 10.1177/107110070602701202.
- [74] L. Ramírez-Andrés, E. Nieto-García, E. Nieto-González, N. López-Ejeda, und J. Ferrer-Torregrosa, „Effectiveness of minimally invasive surgery using incomplete phalangeal osteotomy for symptomatic curly toe of adults with a trapezoidal phalanx: An observational study.“, *Front. Surg.*, Bd. 9, S. 965238, 2022, doi:
-

10.3389/fsurg.2022.965238.

- [75] O. W. 2nd Ohm, M. McDonell, und W. A. Vetter, „Digital arthrodesis: an alternate method for correction of hammer toe deformity.“, *J. Foot Surg.*, Bd. 29, Nr. 3, S. 207–211, Juni 1990.
- [76] G. Klammer, G. Baumann, B. K. Moor, M. Farshad, und N. Espinosa, „Early complications and recurrence rates after Kirschner wire transfixion in lesser toe surgery: a prospective randomized study.“, *Foot Ankle Int.*, Bd. 33, Nr. 2, Art. Nr. 2, Feb. 2012, doi: 10.3113/FAI.2012.0105.
- [77] J. C. Connors, E. E. Zulauf, und A. A. Manji, „Novel Extramedullary Fixation Device for Hammertoe Correction: A Retrospective Review of 100 patients.“, *J. Foot Ankle Surg. Off. Publ. Am. Coll. Foot Ankle Surg.*, Bd. 62, Nr. 4, S. 694–700, Aug. 2023, doi: 10.1053/j.jfas.2023.02.010.

14. ANHANG



Patienteninformation und Einwilligung

Klinik und Poliklinik
für Unfall-, Hand- und
Wiederherstellungschirurgie
Leiter: Prof. Dr. med. Thomas Mittlmeier
Schillingallee 35
18057 Rostock

Studienzentrums-ID: _____

Studienarzt: _____

Studienstandort: Abteilung für orthopädische Fuß- und Sprunggelenkschirurgie des Dietrich-Bonhoeffer-Klinikums Neubrandenburg am Standort Malchin, Basedower Str. 33 in 17139 Malchin

Patienteninformation

„Verfahrensvergleich in der operativen Therapie der Kleinzehendeformitäten: minimal-invasiv versus offen-chirurgisch“

Bitte lesen Sie den folgenden Text sorgfältig, bevor Sie eine Entscheidung treffen. Wenn Sie etwas nicht verstehen, fragen Sie bitte den für Sie zuständigen Studienarzt.

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

hiermit bieten wir Ihnen die Teilnahme an einer klinischen **prospektiven Studie** an. Sie leiden an schmerzenden oder störenden Kleinzehenfehlstellungen. Diese werden nach Ausschöpfung der nicht-operativen Möglichkeiten seit vielen Jahren mit Techniken der offenen Chirurgie erfolgreich behandelt. Seit einigen Jahren kommen auch neu entwickelte minimalinvasive Techniken ohne größere Hautschnitte zur Anwendung. Auch in unserer Klinik wenden wir diese regelmäßig an. Diese Verfahren haben sich bereits im Bereich der Großzehen- und Rückfußkorrektur unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten bewährt und haben sehr gute Ergebnisse erbracht. Zur Bewertung der Verfahrenssicherheit, Patientenzufriedenheit und auch der röntgenologischen sowie funktionellen Ergebnisse im Bereich der Kleinzehenchirurgie haben wir nun diese Studie entworfen.

Die Studie wird in der **Klinik für orthopädische Fuß- und Sprunggelenkchirurgie des Dietrich-Bonhoeffer-Klinikums Neubrandenburg am Standort Malchin**

durchgeführt und von **Prof. Dr. med. Thomas Mittlmeier** aus der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie der Universitätsmedizin Rostock geleitet. Es werden insgesamt 100 Patienten in unserer Klinik an der Studie teilnehmen.

Im Rahmen ihrer Teilnahme an unserer klinischen Studie werden Sie per Zufallsprinzip dem offen chirurgischen Verfahren oder der Schlüsselloch-Methode zugeordnet. Zusätzliche Besuche in der Klinik sind neben der üblichen Nachbehandlung nicht erforderlich.

Im Rahmen der Studie sollen ausschließlich Daten Ihrer Behandlung erfasst und ausgewertet werden. **Dabei handelt es sich um folgende Daten:**

Vorgeschichte, Alter, Geschlecht, Art der Kleinzehefehlstellung sowie etwaiger sonstiger Fußdeformitäten, Nebenerkrankungen, Art der Operation, mögliche Komplikationen, Patientenzufriedenheit in Form von Fragebögen, Röntgenbilder vor und nach der Operation sowie die Erfassung der Schmerzsituation und der Funktion des Fußes vor und nach der Operation durch Punktesysteme.

Sie werden in diesem Sinne gebeten, zusätzlich zum üblichen medizinischen Vorgehen Fragebögen auszufüllen. Eine körperliche Untersuchung vor und nach der Operation soll stattfinden. Die genannten studienbedingten Maßnahmen erfordern einen zusätzlichen Zeitaufwand von 30 Minuten bei jedem Behandlungstermin.

Die Teilnahme an dieser Studie ist **freiwillig**. Sie werden nur dann einbezogen, wenn Sie dazu schriftlich Ihre Einwilligung erklären. Sofern Sie nicht an der Studie teilnehmen oder später aus ihr ausscheiden möchten, entstehen Ihnen dadurch keine Nachteile. Sie können jederzeit, auch ohne Angabe von Gründen, Ihre Einwilligung mündlich oder schriftlich widerrufen.

Falls im Verlauf der Studie wichtige neue Erkenntnisse bekannt werden, die sich auf Ihre Entscheidung über die weitere Teilnahme auswirken könnten, werden Sie darüber umgehend informiert. Die Studie wurde der zuständigen Ethikkommission vorgelegt. Sie hat keine Einwände erhoben.

Welche möglichen Risiken, Beschwerden oder Begleiterscheinungen sind mit Ihrer Teilnahme verbunden?

Die offene Chirurgie der Kleinzehe ist seit vielen Jahren der Goldstandard und gilt als sicheres und erfolgreiches Konzept zur operativen Behandlung der Kleinzehefehlstellungen. Nichtsdestotrotz geht eine jede Operation mit einem gewissen Risiko für Komplikationen einher. Im Bereich der Kleinzehe sind diese vor allem Wundheilungs- und Durchblutungskomplikationen. Mit der Anwendung der minimal-invasiven Techniken versuchen Chirurgen dieses Risiko zu minimieren und dennoch gleichwertige funktionelle Ergebnisse zu erzielen. Es wird demnach nicht angenommen, dass Patienten, die eine minimalinvasive Operation erhalten, einem höheren Risiko ausgesetzt sind. Dies soll jedoch in dieser Studie untersucht werden. Aufgrund der Untersuchungen und der Fragebögen ergibt sich für sie ein gewisser Mehraufwand, mit dem Sie aber zum Fortschritt beitragen können.

Welcher mögliche Nutzen ergibt sich aus Ihrer Teilnahme an der Studie?

Es ergibt sich durch Ihre Teilnahme an dieser Studie kein individueller Nutzen für Ihre Gesundheit. Die Ergebnisse dieser Studie können aber dazu beitragen, dass für andere Patienten, die an Ihrer Erkrankung leiden, die Versorgung verbessert wird.

Welche Rechte und Bedingungen sind mit der Teilnahme verbunden?

Sie können jederzeit, auch ohne Angabe von Gründen, Ihre Teilnahme an der Studie beenden.

Falls Sie nicht teilnehmen möchten, ausscheiden möchten oder wenn Ihre Teilnahme vom Studienverantwortlichen aus verschiedenen Gründen nicht akzeptiert oder beendet wurde, wird Ihre leitliniengerechte Behandlung bei Ihrem behandelnden Arzt weitergeführt, ohne dass dabei die Behandlungsqualität oder das Verhältnis zu diesem beeinträchtigt wird oder Ihnen zusätzliche Kosten entstehen.

Wir weisen Sie darauf hin, dass für dieses Projekt und für die begleitende Studie keine eigene Versicherung abgeschlossen wurde, Sie aber auf dem Weg zwischen Ihrem Wohnort und den Studienräumlichkeiten für studienbedingte Untersuchungen unfallversichert sind.

Datenschutz

Nachfolgend möchten wir Sie umfassend darüber informieren, was mit Ihren persönlichen Daten im Rahmen der Studie geschieht und wie wir mit ihnen umgehen.

Wer ist verantwortlich für die Datenverarbeitung und -speicherung?

Für die Datenverarbeitung und -speicherung im Rahmen der Studie ist die Universitätsmedizin Rostock sowie die Abteilung für orthopädische Fußchirurgie des Dietrich-Bonhoeffer-Klinikums Neubrandenburg am Standort Malchin verantwortlich. Diese können Sie unter folgenden Kontaktdaten erreichen:

Verantwortliche Einrichtung

Universitätsmedizin Rostock - rechtsfähige Teilkörperschaft der Universität Rostock
Schillingallee 35
18057 Rostock
0381 494 0
www.med.uni-rostock.de

Klinik für orthopädische Fuß- und Sprunggelenkchirurgie des Dietrich-Bonhoeffer-Klinikums Neubrandenburg am Standort Malchin
Basedower Straße 33
17139 Malchin

An wen können Sie sich bei Fragen zur Studie oder zum Datenschutz wenden?

Damit Ihre Interessen bestmöglich gewahrt werden, können Sie sich auch jederzeit für sämtliche Fragen zu Ihrer Betreuung im Rahmen der Studie oder generell zu deren

Ablauf unter folgender Adresse und Telefonnummer an den folgenden Ansprechpartner wenden:

Ansprechpartner zur Studie

Benjamin Weigang
Basedower Straße 33
17139 Malchin
Telefon: 0395-775-13207
E-Mail: WeigangB@dbknb.de

Bei Fragen zum Datenschutz steht Ihnen zusätzlich der Datenschutzbeauftragte der Universitätsmedizin Rostock gerne zur Verfügung:

Datenschutzbeauftragter der Universitätsmedizin Rostock

Der Datenschutzbeauftragte
Doberaner Str. 142
18057 Rostock
0381 494 5155/5173
datenschutz@med.uni-rostock.de

Möchten Sie von Ihrem Beschwerderecht über rechtswidrige Datenverarbeitungen Gebrauch machen, wenden Sie sich bitte an die zuständige Aufsichtsbehörde:

Zuständige Datenschutzaufsichtsbehörde

Der Landesbeauftragte für Datenschutz und Informationsfreiheit M-V
Schloss Schwerin, Lennéstr. 1
19053 Schwerin
0385 59494 0
info@datenschutz-mv.de

Welche Daten von Ihnen benötigen wir für die Durchführung der Studie?

Zur Durchführung der Studie benötigen wir neben Ihren Kontaktdaten wie Name, Geburtsdatum und Geschlecht die Art Ihrer Erkrankung (Zehenfehlstellung) und etwaige Nebenerkrankungen. Ihre operative Versorgung wird mit Datum vermerkt und auch die Aufenthaltsdauer im Krankenhaus wird ermittelt. Vor und nach der Operation werden Röntgenbilder angefertigt und analysiert. Sollte es zu Komplikationen im Heilungsverlauf kommen, werden auch diese erfasst. In Form von Fragebögen soll Ihr Beschwerdeprofil vor und nach der Operation inklusive Schmerzart, Schmerzverstärkung, Schmerzzeitpunkt und daraus resultierenden Einschränkungen bzw. Verbesserungen in der Mobilisation festgestellt werden. Ebenso wird zu Ihrer generellen Zufriedenheit ein Fragebogen auszufüllen sein. Daten zur

Krankenversicherung oder Abrechnung werden von uns nicht benötigt. Um die Folgeuntersuchung zu koordinieren, würden wir Sie gerne telefonisch kontaktieren. All Ihre medizinischen Studiendaten werden unter Verschluss archiviert und lediglich anonymisiert in die Auswertung eingebracht.

Woher erhalten wir diese Daten?

Die Daten werden in der direkten körperlichen Untersuchung durch den Studienarzt und durch Ausfüllen der Fragebögen durch Sie erhoben. Zudem erfolgt die röntgenologische Untersuchung in unserer radiologischen Abteilung am Standort Malchin. Medizinische Daten aus externen Quellen werden nicht zu Studienzwecken herangezogen. Die Rechtsgrundlage der geplanten Datenverarbeitung ist Ihre schriftliche Einwilligung und kann jederzeit widerrufen werden.

Zu welchen Zwecken werden Ihre Daten benötigt und wie werden sie geschützt?

Ihre Daten werden nur zum Zwecke der Kontaktaufnahme und wissenschaftlichen Auswertung gemäß Studienprotokoll verwendet. Die Erhebung erfolgt zunächst personalisiert. Im Anschluss erfolgt eine Pseudonymisierung mit Anlage einer entsprechenden Entschlüsselungsdatei, welche Passwort-gesichert auf einem internen Server hinterlegt wird. Für die anderen Mitarbeiter an der Studie ist ein Rückschluss auf Ihre Person somit ausgeschlossen.

Wo und wie lange werden die Daten gespeichert?

Die im Rahmen der Studie erhobenen Daten werden zunächst pseudonymisiert. Nach Beendigung der wissenschaftlichen Auswertung ist ein Rückschluss auf Ihre Person nicht mehr notwendig, sodass die Zuordnungsdatei vernichtet wird. Dadurch sind die Studiendaten anonymisiert, d. h. sie lassen keinerlei Rückschluss auf Ihre Person mehr zu.

Die medizinischen Daten, die im Rahmen einer Behandlung erhoben wurden, unterliegen einer gesetzlichen Aufbewahrungsfrist von 30 Jahren. Während der Aufbewahrungszeit werden diese Daten gesperrt, das bedeutet für weiteren Einsichtnahmen und Nutzungen unzugänglich aufbewahrt.

Wer erlangt Kenntnis von Ihren Daten? Werden Ihre Daten weitergegeben und veröffentlicht?

Zugriff auf die Originaldaten haben die Studienärzte. Diese führen zum Zwecke der Auswertung die Pseudonymisierung durch, sodass ein Rückschluss von den Ergebnissen auf Ihre individuellen Daten nicht möglich ist. Sie unterliegen der medizinischen Schweigepflicht. Die pseudonymisierten Daten verbleiben zur Auswertung in den Studienzentren in Malchin und Rostock. Im Rahmen einer wissenschaftlichen Publikation würden Ihre Daten ebenfalls nur pseudonymisiert Anwendung finden.

Welche Datenschutzrechte haben Sie bei einer Teilnahme an der Studie?

Gemäß den geltenden Datenschutzbestimmungen verfügen Sie selbst grundsätzlich über ein Recht auf *Auskunft* über gespeicherte Daten, *Berichtigung* unzutreffender

Daten, *Löschung* von Daten, *Einschränkung der Verarbeitung* von Daten, *Widerspruch* gegen unzumutbare Datenverarbeitung und über ein Recht auf *Datenübertragbarkeit* der zu Ihrer Person gespeicherten Daten. Ebenso haben Sie das Recht Ihre abgegebene *Einwilligung* zu *widerrufen*. Diese Rechte können Sie jederzeit gegenüber der verantwortlichen Einrichtung ausüben. Diese wird dann im Einzelfall prüfen, inwieweit Ihrem Begehren nachgegangen werden kann. Daneben steht Ihnen ein Beschwerderecht über rechtswidrige Datenverarbeitungen bei der zuständigen Aufsichtsbehörde zu.

Widerrufsrecht

Grundsätzlich können Sie ihre Einwilligung jederzeit ohne Angabe von Gründen widerrufen. Wenden Sie sich hierfür an die Universitätsmedizin Rostock. Ihr Widerruf gilt allerdings erst ab dem Zeitpunkt, zu dem Sie diesen abgeben. Er hat keine Rückwirkung. Die Verarbeitung Ihrer Daten bis zu diesem Zeitpunkt bleibt rechtmäßig. Im Falle eines Widerrufs wird die Löschung der personenbezogenen Daten veranlasst. Die Studiendaten, die bereits anonymisiert und somit nicht mehr Ihrer Person zugeordnet werden können, werden im Rahmen der Studie weiterverwendet.

Einwilligungserklärung

zur Teilnahme an der Studie „Verfahrensvergleich in der operativen Therapie der Kleinzehendeformitäten: minimal-invasiv versus offen-chirurgisch“ und die damit verbundene Datenverarbeitung

Patient: _____ Geburtsdatum: _____
*Name, Vorname in
Blockschrift*

Ich wurde durch den o. g. Studienarzt vollständig über die klinische Studie am _____ ausführlich - mündlich und schriftlich - über Wesen, Bedeutung, Tragweite und Dauer der klinischen Studie im Allgemeinen sowie über erwartete Wirkungen und absehbare Risiken, meine Rechte und Pflichten, den mir zustehenden Versicherungsschutz und die Freiwilligkeit der Teilnahme aufgeklärt. Mir wird zugesichert, dass diese Aufklärung vollständig ist.

Ich hatte die Gelegenheit und ausreichend Zeit, Fragen zu stellen und mich zu entscheiden. Diese wurden zufriedenstellend und vollständig beantwortet und von mir akzeptiert.

Zusätzlich zu der schriftlichen Information wurden folgende Punkte besprochen:

Ich nehme freiwillig an der Studie teil. Ich habe die Patienteninformation zur klinischen Studie und die dort enthaltenen Hinweise zum Datenschutz und den damit verbundenen Rechten aufmerksam gelesen. Ich wurde darüber aufgeklärt, dass im Rahmen der Studie persönliche Daten von mir erhoben, verarbeitet und genutzt werden, insbesondere meine **Gesundheitsdaten** (u.a. Daten zur Erkrankung, medizinische Fragebögen und Röntgenbilder). Wie der Patienteninformation zu entnehmen ist, können dabei verschiedene Projektpartner zu Studien- und Behandlungszwecken Zugriff auf meine Gesundheitsdaten bekommen. Ich bin mir bewusst, dass im Falle einer anonymisierten Speicherung meiner Daten deren Löschung auf meinen Wunsch nicht möglich ist.

Widerrufsrecht

Ich wurde darüber aufgeklärt, dass ich meine Teilnahme jederzeit ohne Angabe von Gründen beenden kann, ohne dass mir dadurch Nachteile entstehen. Mir ist ebenfalls bekannt, dass ich meine Einwilligung in die Datenverarbeitung jederzeit mit Wirkung für die Zukunft widerrufen kann, ohne dass die Rechtmäßigkeit, der aufgrund der Einwilligung bis zum Widerruf erfolgten Verarbeitung berührt wird. Die Informationen zum Widerruf der Einwilligung in der dazugehörigen *Patienteninformation* habe ich zur Kenntnis genommen.

Ich erkläre hiermit mein freiwilliges Einverständnis zur Teilnahme an der Studie „Verfahrensvergleich in der operativen Therapie der Kleinzehendeformitäten: minimal-invasiv versus offen-chirurgisch“.

Mir ist bewusst, dass ich meine Teilnahme jederzeit ohne Angabe von Gründen beenden kann, ohne dass mir dadurch Nachteile entstehen.

Ich willige hiermit unter Einbezug der dazugehörigen Patienteninformation in die Verarbeitung meiner personenbezogenen Daten und Gesundheitsdaten zu folgenden Zwecken ein:

Erhebung, Verarbeitung und Nutzung meiner in der *Patienteninformation* aufgelisteten Daten, insbesondere meiner Gesundheitsdaten (Name, Alter, Geschlecht, Erkrankung, Operation, Krankenhausaufenthalt, Komplikationen, Röntgenbilder, Fragebögen „Zufriedenheit“, FFI-D) in pseudonymisierter Form für die Durchführung der Studie „Verfahrensvergleich in der operativen Therapie der Kleinzehendeformitäten: minimal-invasiv versus offen-chirurgisch“ durch:

- Prof. Dr. med. T. Mittlmeier,
- Dr. med. A. Simon
- B. Weigang
- C. Meyer-Probst
- E. Eleleimy
- K. Klemt
- G. Fregin

und Speicherung im internen Speicher Laufwerk G/Alle/Arzt/Weigang.

Ich bin damit einverstanden, dass **autorisierte Personen**, die der Schweigepflicht unterliegen (z.B. Monitore) **Einblick in meine Originaldaten** nehmen, um die ordnungsgemäße Durchführung der Studie zu überprüfen. Nur zu diesem Zweck entbinde ich meinen Arzt [Prof. Dr. med. T. Mittlmeier, Dr. med. A. Simon, B. Weigang] von der Schweigepflicht.

Eine Kopie der Patienteninformation und der Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Das Original verbleibt beim Studienarzt.

Name Patient

Ort, Datum

Unterschrift

Name Studienarzt

Ort, Datum

Unterschrift

Studienbogen präoperativ

Block I – Basischarakteristika

ID	
Studienarm [offen/MIS]	
Alter [a]	
Geschlecht [m/w/i]	
Größe [cm]	
Gewicht [kg]	
Diagnose Kleinzehe	
Anzahl indizierter Strahlen [n]	
sonstige Pathologie Fuß	
Voroperationen Kleinzehe [j/n]	
Nebenerkrankungen (pAVK, DM II, rheum. Formenkreis, Nikotinabusus)	
Dauermedikation (Kortikoide, OAK, Antirheumatika)	
schmerzarme Gehstrecke [m]	
Schuhkonflikt [j/n]	
Ulzerationen [j/n]	

Block II - radiologische Fehlstellung:

Typ I: milde Fehlstellungen (Hammerzehe, Krallenzehe ohne Luxation im MTP-Gelenk, transversal stabil)

Typ II: mittelgradige Fehlstellungen (mit transversaler Instabilität/Rotation ohne Luxation im MTP-Gelenk)

Typ III: ausgeprägte Fehlstellung (mit Luxation im MTP-Gelenk)

Block III - FFI-D aushändigen mit Pseudonym

Studienbogen stationär

Block I – Verlaufskarakteristika (Studienarzt)

ID	
Studienarm [offen/MIS]	
intraop. Komplikationen [j/n]	
mechan. Zwischenfälle postop. [j/n]	
Compliance gegeben [j/n]	
prolongierte Wundheilung [j/n]	
Wundinfektionen [j/n, oberflächlich/tief]	
Zehenschämie mit Maßnahmen [j/n]	
Zehennekrose [j/n]	
Zehenverlust [j/n]	
erneute operat. Therapie notwendig? [j/n]	
Krankenhaustage [n]	

Block II – radiologisches Ergebnis postoperativ (unabhängiger Arzt)

dorsoplantare Achskorrektur (Alignment der Phalangen im seitlichen Strahlengang) erreicht [j/n]:

transversale Ausrichtung der Phalangen physiologisch [j/n]:

verbliebene Restfehlstellung [j/n]:

Repositionsverlust postoperativ [j/n]:

adäquater Kontakt der Osteotomie- und Arthrodesenpartner [j/n]

Materiallage korrekt [j/n]:

Block III – Patientenzufriedenheit postoperativ (short-PROM)

Sind Sie zufrieden mit der Korrektur Ihrer Zehenfehlstellungen? [j/n]:

Würden Sie diese Operation noch einmal durchführen lassen? [j/n]:

Würden Sie diese Operation Mitpatienten empfehlen? [j/n]:

Würden Sie diese Operation Ihren Familienmitgliedern empfehlen? [j/n]:

Studienbogen 1-Jahres-Follow-Up

Block I – Verlaufskarakteristika (Studienarzt)

ID	
Studienarm [offen/MIS]	
Langzeit-Komplikationen [j/n]	
Welche? [TVT, Osteomyelitis, Gefäßverschluss]	
Intervention notwendig [j/n]	
Welche?	
klin. Korrektur [vollständig, zufriedenstellend, unzureichend]	
Folgeoperation erhalten [j/n]	
erneute operat. Korrektur indiziert? [j/n]	
Keloide/Narbenkontrakturen [j/n]	
schmerzarme Gehstrecke [m]	
Schuhkonflikt [j/n]	

Block II – radiologisches Ergebnis postoperativ (unabhängiger Arzt)

dorsoplantare Achskorrektur (Alignment der Phalangen im seitlichen Strahlengang) erhalten [j/n]:

transversale Ausrichtung der Phalangen weiterhin physiologisch [j/n]:

Rezidivfehlstellung [nein/mild/ausgeprägt]:

Konsolidierung der Osteotomie- bzw. Arthrodesenregionen [vollständig, partiell]:

Pseudarthrosen [j/n]:

Block III – Patientenzufriedenheit nach 1 Jahr (short-PROM)

Sind Sie zufrieden mit der Korrektur Ihrer Zehenfehlstellungen? [j/n]:

Würden Sie diese Operation noch einmal durchführen lassen? [j/n]:

Würden Sie diese Operation Mitpatienten empfehlen? [j/n]:

Würden Sie diese Operation Ihren Familienmitgliedern empfehlen? [j/n]:

Block IV – FFI-D mit Pseudonym aushändigen

Fuß-Funktions-Index-Deutschland (FFI-D) Patienten-Fragebogen

ID:

Datum:

Bitte jeweiliges Feld ankreuzen!

Anzahl Tage Fußschmerzen (während der letzten 7 Tage): (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)

Schmerzskala

Markieren Sie auf der Skala, wie stark Ihre Fußschmerzen in jeder der folgenden Situationen **WÄHREND DER LETZTEN WOCH** waren. 0 entspricht „keine Schmerzen“ und 9 entspricht „stärksten Schmerzen“. Wenn eine oder mehrere Aussagen für sie nicht zutreffend waren, markieren Sie „nicht zutreffend“.

Wie stark waren Ihre Fußschmerzen... Schmerzen	keine Schmerzen	stärkste
1. ...im schlimmsten Fall?	() nicht zutreffend	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)
2. ...bevor Sie am Morgen aufstanden?	() nicht zutreffend	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)
3. ...beim barfuß Gehen?	() nicht zutreffend	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)
4. ...beim barfuß Stehen?	() nicht zutreffend	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)
5. ...beim Gehen mit Schuhen?	() nicht zutreffend	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)
6. ...beim Stehen mit Schuhen?	() nicht zutreffend	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)
7. ...am Ende des Tages?	() nicht zutreffend	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)
8. ...in der Nacht?	() nicht zutreffend	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)

Funktionsskala

Markieren Sie auf der Skala, wie groß Ihre Schwierigkeiten waren, jede der Aktivitäten **WÄHREND DER LETZTEN WOCH** auszuüben. 0 entspricht „keine Schwierigkeiten“ und 9 entspricht „unmöglich zu tun“. Wenn Sie eine Aktivität in der letzten Woche nicht ausgeübt haben, markieren Sie „nicht zutreffend“.

Welche Schwierigkeiten hat Ihnen Ihr Fuß bereitet beim/bei...

tun	keine Schwierigkeiten	unmöglich zu
1. ...Gehen im Haus?	() nicht zutreffend	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)
2. ...Gehen auf unebenem Boden?	() nicht zutreffend	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)
3. ...Gehen von 1 km oder mehr?	() nicht zutreffend	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)
4. ...Hinaufgehen der Treppe?	() nicht zutreffend	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)
5. ...Hinuntergehen der Treppe?	() nicht zutreffend	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)
6. ...Stehen auf den Zehenspitzen?	() nicht zutreffend	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)
7. ...Aufstehen von einem Stuhl?	() nicht zutreffend	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)
8. ... schnellen Gehen oder Laufen?	() nicht zutreffend	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)
9. ... Freizeitaktivitäten/Sport?	() nicht zutreffend	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)
10. ... Tragen besonderen Schuhwerks? (hohe Schuhe, Sandalen, etc.)	() nicht zutreffend	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9)

Vielen Dank für das Ausfüllen des Fragebogens!