

**AUS DER CHIRURGISCHEN KLINIK UND POLIKLINIK DER
UNIVERSITÄT ROSTOCK,
ABTEILUNG FÜR UNFALL-, HAND- UND
WIEDERHERSTELLUNGSCHIRURGIE**

Direktor: Prof. Dr. med. habil. Thomas Mittlmeier

**Ergebnisse der Lapidusarthrodese bei Hallux valgus
Deformität unter Berücksichtigung der dynamischen
Pedobarographie.**

Eine klinisch-radiologische-prospektive Studie.

**INAUGURALDISSERTATION ZUR ERLANGUNG DES AKADEMISCHEN
GRADES DOKTOR DER MEDIZIN (DR. MED.) DER MEDIZINISCHEN
FAKULTÄT DER UNIVERSITÄTSMEDIZIN ROSTOCK**

vorgelegt von

André Michel, geb. am 19.11.1976 in Hadamar

Rostock 2016

Dekan der Medizinischen Fakultät: Professor Dr. med. Emil Christian Reisinger

Gutachter:

1. Gutachter:

Prof. Dr. med. Thomas Mittlmeier,
Leiter der Abteilung für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungs chirurgie der
chirurgischen Klinik und Poliklinik der Universität Rostock

2. Gutachter:

Priv. Doz. Dr. med. Philipp Schwabe,
Leitender Oberarzt am Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité
am Campus Virchow-Klinikum in Berlin

3. Gutachter:

Prof. Dr. med. R. Grass,
Leitender Oberarzt des Univeritätscentrums Orthopädie & Unfallchirurgie des
Universitätsklinikums Carl Gustav Carus der TU Dresden

Datum der Einreichung: 29.02.2016

Datum der Verteidigung: 24.01.2017

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

1.1. Hallux valgus - Epidemiologie.....	1
1.2. Hallux valgus - Definition.....	1
1.3. Ätiologie und Pathogenese.....	2
1.4. Entwicklung und Klinik der Fehlstellung.....	3
1.5. Wissenschaftliche Zielsetzung.....	4

2. Material und Methodik

2.1. Patienten.....	6
2.2. Die Lapidusarthrodese: Chirurgische Technik/ OP-Bericht.....	8
2.2.a) Die Lapidusarthrodese: Nachbehandlung.....	10
2.3. Klinische Untersuchung.....	10
2.4. Radiologische Untersuchung.....	14
2.5. Pedobarographische Untersuchung.....	19
2.6 Statistische Auswertung.....	22

3. Ergebnisse

3.1. Auswertung AOFAS Score.....	23
3.2. Radiologische Auswertung.....	28
3.3. Pedobarographische Auswertung.....	34
3.4. Komplikationen.....	59

4. Diskussion

4.1. Allgemein.....	60
4.2. Komplikationen.....	62
4.3. Nachbehandlung.....	62
4.4. Klinische Untersuchung.....	63
4.5 Radiologische Untersuchung.....	64
4.6. Pedobarographische Untersuchung.....	67

5. Zusammenfassung.....	72
--------------------------------	-----------

6. Literaturverzeichnis.....	73
-------------------------------------	-----------

7. Thesen.....	80
-----------------------	-----------

8. Anhang	
8.1. Tabellenverzeichnis.....	81
8.2. Abbildungsverzeichnis.....	82
8.3. Grafikverzeichnis.....	83
8.4. Abkürzungsverzeichnis.....	85
9. Eidesstattliche Erklärung.....	86
10. Danksagung.....	87
11. Lebenslauf.....	88

1.1. Hallux valgus - Epidemiologie

Die Hallux valgus Fehlstellung zählt zu den häufigsten Deformitäten der unteren Extremität [8, 61].

Klinisch imponiert eine Lateralabweichung der Großzehe in Bezug auf das erste Metatarsale. Die Erstbeschreibung erfolgte im Jahr 1871 durch den deutschen Chirurgen Karl Hueter [1].

Die in dieser Studie eingesetzte Operationsmethode am ersten Tarsometatarsalgelenk wurde erstmals 1911 durch Albrecht [43] erwähnt und hat sich als Lapidusarthrodese etabliert.

Es gilt als erwiesen, daß die Deformität gehäuft beim weiblichen Geschlecht und in fortgeschrittenem Lebensalter auftritt [5, 6, 7].

Frauen sind davon zehnmal häufiger betroffen [68], mit einer steigenden Tendenz jenseits des vierten Lebensjahrzehntes.

Als Ursache der vermehrten weiblichen Disposition wird neben dem Tragen von engen und hohen Schuhwerk auch das Vorhandensein von laxerem Bindegewebe diskutiert [65].

Die Inzidenz für die Entstehung eines Hallux valgus liegt in der Literatur [2] bei 12,3%; die Prävalenz zwischen 25% und 30% [60].

1.2. Hallux valgus - Definition

Gudas und Marcinko [2] definieren den Hallux valgus als eine dreidimensionale Achsenfehlstellung, Hueter [1] und Mann [114] als statische Subluxation des ersten Metatarsophalangealgelenkes mit Abweichung des Metatarsale I nach medial und der Großzehe nach lateral.

1.3. Ätiologie und Pathogenese

Das Krankheitsbild des Hallux valgus ist durch eine Formveränderung des Fußes gekennzeichnet. Die Ätiologie ist multifaktoriell [9,10, 11,12, 13, 14, 16, 57, 85, 86].

Der angeborene Hallux valgus tritt selten auf, in der Regel ist er mit anderen Deformitäten kombiniert [17].

Es bestehen Hinweise auf einen primär inflammatorisch bedingten Hallux valgus, wie bei der Polyarthritiden oder Hyperurikämie [18].

Durch spastische oder paralytische Lähmungen kann eine Dysbalance des Muskelgleichgewichtes am ersten Metatarsophalangealgelenk entstehen. Dadurch gelingt es nicht mehr die Großzehe in der Neutralstellung zu halten [16, 19, 31].

In der Literatur finden sich mehrere Hinweise auf eine erbliche Belastung [20, 21, 22]. Das Merkmal des Hallux valgus scheint geschlechtsgebunden weitergegeben zu werden – es ist dominant bei Frauen und rezessiv bei Männern.

Mehrere Autoren [23, 24, 25] sehen den Ursprung der Deformität in Zusammenhang mit der Einführung des Schuhwerkes.

Biomechanisch gesehen drängen schlecht passende Konfektionsschuhe den Fuß in eine vermehrte Eversion [26] mit einer Medialisierung der Hauptbelastungszone am Fuß. Es gibt kontroverse Veröffentlichungen in der Literatur, die eine umgekehrte Korrelation zwischen Schuhwerk und der Entstehung der Hallux valgus Deformität zeigen [27, 20]. McElvenny [29] stellte sogar die These auf, dass jede Frau einen Hallux valgus entwickeln müsse, wenn das Schuhwerk letztlich den Hauptauslöser darstelle. Schließlich konnten auch in schuhlosen Populationen typische Hallux valgus Deformitäten beobachtet werden [30].

Morton [51] betrachtete als auslösenden Faktor für die Entstehung der Deformität die Hypermobilität des ersten Strahles [51]. Diese führt zu einer insuffizienten Belastungssituation mit Entstehung einer Transfermetatarsalgie, insbesondere unter dem zweiten und dritten Metatarsaleköpfchen [90].

1.4. Entwicklung und Klinik der Fehlstellung

Ungeachtet der Ätiologie besteht ein mechanisches Ungleichgewicht am ersten Metatarsophalangealgelenk.

Sobald die Kraftresultierende hier nicht mehr im Zentrum liegt, gleitet das Köpfchen des Metatarsale I nach medial über den Sesambeinkomplex hinweg.

Damit wird die Zugrichtung der Sehne des M. extensor hallucis longus nach lateral verlagert, wodurch es zur Plantardevitation des M. abductor hallucis kommt.

Im Röntgenbild erkennt man die zunehmende Luxation der Sesambeine nach lateral.

Bei zunehmender Deformität wird die Basis der Grundphalanx des ersten Strahles in der Frontalebene in eine Valgusposition gezogen. Dies führt über längere Zeit zur Bildung einer Hyperkeratose im Bereich des medialen Großzehengrundgelenkes.

Die Fehlstellung des ersten Zehs korreliert nach Baumgartner mit einer Fehlbelastung des Großzehengrundgelenkes [69] und bedingt das sekundär erhöhte Risiko für die Ausbildung einer Arthrose.

In der Folge kommt es zu der oben beschriebenen dreidimensionalen Deformität:

Frontale Ebene: Innenrotation der Großzehe, mediale Beschwielung, Rotation des lateralen Anteils der Großzehe nach dorsal.

Transversale Ebene: Deviation der Großzehe nach lateral, hierbei kann die Großzehe über oder unter dem zweiten Zeh zu liegen kommen.

Sagittale Ebene: Rotation der Großzehe mit dorsaler oder plantarer Abweichung.



Abbildung 1:
Hallux valgus Deformität

Etwa die Hälfte der Patienten mit einer Hallux valgus Deformität klagen über Beschwerden wie Parästhesien im Bereich des Nervus cutaneus dorsalis medialis, eine druckdolente Pseudobursitis, Ballenrytheme, Schwielenbildung und Schwierigkeiten beim Laufen und Tragen von Konfektionsschuhen [32].

Die Schwere der Deformität korreliert dabei häufig nicht mit den subjektiv geäußerten Beschwerden [33,34].

In der Befunderhebung imponiert ein verbreiterter Vorfuß mit einem nach medial verlagertem Metatarsale I [37] und einer Lateraldevitation der Großzehe [35, 58].

Klinisch findet sich medial der Pseudoexostose [4] regelmäßig eine schmerzhafte, entzündlich gereizte Ballenbursitis.

Die Achsabweichung der Großzehe erhöht zudem auch die Inzidenz des Auftretens von Kleinzehendeformitäten [36].

1.5. Wissenschaftliche Zielsetzung

Die Untersuchung soll Auskunft geben über die klinischen Erfahrungen, die zwischen Juni 2009 und Juli 2011 anhand eines Kollektivs von 40 Patienten mit höhergradiger Hallux valgus Deformität gesammelt worden sind. Bei sämtlichen Patienten erfolgte die Korrektur der Hallux valgus Deformität durch eine Lapidusarthrodese.

Die follow-up Untersuchung erfolgte in einem zeitlichen Abstand von mindestens 14 \pm 2 Monaten.

Wesentliche Parameter der Arbeit waren die Auswertung der radiologischen Kenngrößen der Hallux valgus Chirurgie und der Vergleich anhand des AOFAS-Score nach Kitaoka et al. 1994 [64].

Zusätzlich wurde das Verfahren der dynamischen Pedobarographie eingesetzt. Anhand der Pedobarographie wurde der Einfluß der Operationsmethode auf die Kernparameter der dynamischen Pedobarographie Maximalkraft und das Kraft-Zeit-

Integral am Vorfuß untersucht. Pedobarographische Analysen konnten zeigen, daß die Hallux valgus Deformität beim Abrollvorgang zu einer vermehrten Belastung plantar der Metatarsaleköpfchen zwei bis fünf führt. Die Belastung unter dem ersten Metatarsaleköpfchen ist erniedrigt, die Belastung lateral hingegen erhöht [103].

Das Ziel der Studie war es, das Outcome der Operationsmethode mit Hilfe von subjektiven und objektiven Parametern zu untersuchen.

Durch die Arbeit sollen folgende konkrete Fragestellungen beantwortet werden:

- 1.) Ist die Lapidusarthrodese ein geeignetes Verfahren zur klinischen Korrektur der höhergradigen Hallux valgus Deformität?
- 2.) Ist die Operationsmethode geeignet zur radiologischen Winkelkorrektur?
- 3.) Besteht eine Korrelation innerhalb der radiologischen und pedobarographischen Kenngrößen und ermittelten Werte?
- 4.) Welche Änderung erfährt der Vorfuß beim Abrollvorgang bezogen auf die Maximalkraft und das Kraft-Zeit-Integrals durch die Operationsmethode?

2. Material und Methoden

2.1. Patienten

Im Zeitraum Juni 2009 bis Juli 2011 erfolgte bei 46 Patienten die operative Korrektur eines höhergradigen Hallux valgus mittels Lapidusarthrodese.

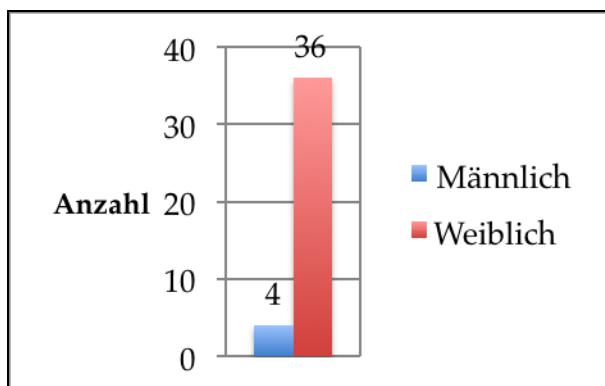
Von den 46 eingeschlossenen Patienten konnten insgesamt 40 Patienten über den gesamten Zeitraum nachuntersucht werden.

Die übrigen 6 Patienten waren aufgrund von Adressänderungen nicht mehr zu ermitteln und konnten somit nicht mehr klinisch nachuntersucht werden. Das Kollektiv beinhaltet keine Patienten mit Erkrankungen aus dem rheumatischen Formenkreis oder Voroperationen am Fuß.

Die Nachuntersuchungszeit belief sich im Zeitintervall 14 ± 2 Monaten postoperativ.

Das Gesamtkollektiv setzt sich aus 36 weiblichen und 4 männlichen Patienten zusammen.

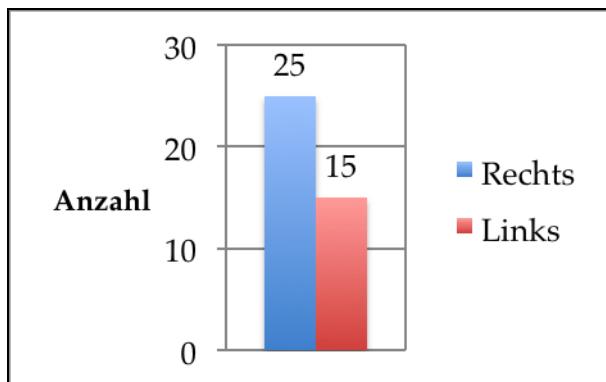
Grafik 1: Geschlechterverteilung



Bei 25 Patienten wurde eine operative Korrektur des Hallux valgus am linken Fuß und bei 15 Patienten am rechten Fuß durchgeführt. Bei 33 Patienten wurde isoliert eine Korrekturosteotomie am ersten Strahl durchgeführt. Bei 7 Patienten wurde eine zusätzliche Osteotomie am zweiten beziehungsweise auch dritten Strahl zur Korrektur einer Kleinzehendeformität notwendig. Bei 19 Patienten wurde zusätzlich

eine Korrekturosteotomie am Grundglied nach Akin durchgeführt. Der Grund dafür war eine begleitende Hallux valgus interphalangeus Deformität oder rotatorische Fehlstellung der Grundphalanx.

Grafik 2: Verteilung der operierten Seite



Altersstruktur

Zum Zeitpunkt der Operation lag das Patientenalter im Durchschnitt bei 50 Jahren bei einer Standardabweichung (SD) von $\pm 11,7$ Jahren.

Tabelle 1: Patientenalter und Patientenverteilung zum Zeitpunkt der Operation

Alter in Jahren	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60	61-65	66-70	71-75
weiblich	2	1	7	0	3	7	7	3	6	0
männlich	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1
Summe	2	1	7	0	3	7	9	4	6	1

Der Altersgipfel des Gesamtkollektivs lag zwischen dem 56. und 60. Lebensjahr.

Der Altersgipfel der weiblichen Patienten lag zwischen dem 51. und 60. Lebensjahr, der Altersgipfel der männlichen Patienten zwischen dem 56. und 60. Lebensjahr.

Im Alter von 41 bis 45 Jahren waren in der Studie keine Patienten vertreten.

2.2. Die Lapidusarthrodese - Chirurgische Technik

Albrecht [43] beschreibt 1911 erstmals die Arthrodese am ersten Tarsometatarsalgelenk. Im allgemeinen Gebrauch hat sich der Eingriff als „Lapidusarthrodese“ etabliert.

Das Verfahren ermöglicht durch die Versteifung des ersten metatarsocuneiformen Gelenkes die Korrektur eines vergrößerten Hallux valgus Winkels. Gleichzeitig kommt es zu einer Stabilisierung des ersten Strahles [49].

Folgende Prinzipien sind hierbei zu beachten [50]:

- 1.) Verklebungen und Verwachsungen müssen plantar gelöst werden um den Metatarsalekopf über den Sesambeinen und Flexoren zu zentrieren.
- 2.) Das Metatarsale I sollte durch die Operation nicht oder nur kaum verkürzt werden.
- 3.) Die ausgiebige Freipräparation des Metatarsocuneiformgelenk vor der Arthrodese.
- 4.) Eine ausreichende Stabilisierung der Arthrodese mit geeigneter Osteosynthese unter Kompression.
- 5.) Um die Knochenheilung zu beschleunigen sollte das Knochentransplantat spannungsfrei angelagert werden.

Die Lapidusarthrodese – OP-Technik

Zu Beginn erfolgt der Hautschnitt über dem dorsalen MTP I Gelenk mit Freipräparation der medialen Kapsel. Die laterale Gelenkkapsel und der Ansatz des M. adductor hallucis an der lateralen Basis des Grundgliedes des ersten Metatarsalknochens werden dargestellt. Durchtrennung des Ansatzes des M. adductor hallucis mit Spaltung der lateralen Kapsel und Mobilisation der Sesambeine. Nun erfolgt die längsverlaufende Inzision der medialen Kapsel und über dem MTP I Gelenk zur Darstellung der Pseudoexostose und sparsames Abgetragen derselben. Anschließend wird das TMT I Gelenk unter Schonung des Nervus cutaneus dorsalis medialis dargestellt. Nach Aufspreizen des Gelenkes erfolgt das sparsame Abtragen der lateralen Basis des Metatarsale I. Das daneben liegende Metatarsale II wird mit der oszillierenden Säge an der medialen Kortikalis aufgeraut. Dann erfolgt die Osteotomie im Bereich des proximalen Metatarsale I quer zur Längsachse unter möglichst minimalem Längenverlust des Knochens.

Danach Osteotomie im distalen Cuneiforme I Bereich unter sparsamer Keilentnahme mit schmaler lateraler Basis. Danach Fenestration der Osteotomieflächen am Metatarsale I und am Cuneiforme I. Reposition des Gelenkes und Fixation durch K-Draht. Kontrolle des Sitzes des K-Drahtes und der Stellung der Arthrodese mit dem Bildwandler. Anschließend Kompression und Fixation in korrigierter Stellung des MT I über den K-Draht mit einer kanülierten Schraube.

Danach Anpassen der Platte medial des ehemaligen TMT I Gelenkes. Die winkelstabile Pedofix-Platte (Argomedical GmbH, Hungercamp 4, 38104 Braunschweig) wird entsprechend mit Schrauben fixiert. Glätten der Osteotomieränder. Danach wird der Zwischenraum Basis metatarsale I/II mit der vorhandenen Spongiosa verfüllt. Abschließende Bildwandlerkontrolle.

Nun erfolgt der schichtweise Wundverschluss und Einlage eines Drains.

2.2.a) Die Lapidusarthrodese - Nachbehandlung

Die Patienten blieben postoperativ 4 Tage in der stationären Behandlung. Hier erfolgten abschwellende Maßnahmen wie Kühlen und Hochlagern des operierten Fußes unter einer bedarfsgerechten Analgesie.

Vor Entlassung erfolgte eine Gangschule unter physiotherapeutischer Anleitung.

In den ersten 4 Wochen war es notwendig den operierten Fuß unter Verwendung von 2 Unterarmgehstützen komplett zu entlasten. Dies erfolgte unter entsprechender Thromboembolieprophylaxe mit Clexane (gewichtsadaptiert nach Leitlinien).

Die Patienten wurden angehalten, eigenständig das Großzehengrundgelenk in Extension und Flexion zu beüben, um postoperativen Bewegungseinschränkungen vorzubeugen.

Nach einem Monat erfolgte die erste Röntgenkontrolle. Bei zunehmender knöcherner Konsolidierung wurde nun die Belastungssteigerung im Vorfußentlastungsschuh unter Teilbelastung bis 20kg freigegeben.

9 Wochen postoperativ erfolgte die zweite und abschließende Röntgenkontrolle mit entsprechendem Übergang in die Vollbelastung.

2.3. Klinische Untersuchung

Die erste präoperative Untersuchung erfolgte in der Praxis von Dr. med. Krieger in Rostock. Die Untersuchung wurde durch den Operateur durchgeführt.

In die Studie wurden Patienten mit einer höhergradigen Hallux valgus Deformität, beziehungsweise dem Vorliegen einer Instabilität am TMT I Gelenk einbezogen. Die Instabilität wurde anhand des Drawer Test geprüft. Die Untersuchung erfolgte sowohl im Stand, Gehen als auch im Sitzen des Patienten.

Der Patient war barfuß, die Beine waren unbekleidet um die Beinachse beurteilen zu können. Klinisch wurden das Ausmaß der Hallux valgus Deformität, die Rotation

der Großzehe, eine Hallux valgus interphalangeus Deformität, die Fußform, das Vorhandensein einer Pseudoexostose, die Beweglichkeit am Großzehengrundgelenk und ersten tarsometatarsocuneiformen Gelenk beurteilt. Das Vorhandensein von Kleinzehendeformitäten wurde auch berücksichtigt.

In der Nachuntersuchung wurde zusätzlich die Bereitschaft erfragt, sich erneut aufgrund der Hallux valgus Deformität operieren lassen zu wollen. Auch wurde auf das Auftreten von postoperativen Komplikationen wie Transfermetatarsalgien, Thrombosen und Pseudarthrosen untersucht.

Zur Beurteilung des Operationsergebnisses wurden prä- und postoperativ der von der American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) akzeptierte und von Kitaoka et al. 1994 [64] veröffentlichte Score verwendet.

Er gilt als weit verbreitetes Bewertungsschema für das Metatarsophalangealgelenk und die Großzehengelenk.

Der Score ist eine Kombination aus klinischen und subjektiven Parametern.

Maximal sind 100 Punkte zu vergeben, die sich aus den folgenden Teilbereichen zusammensetzen:

Schmerzen, Einschränkungen der Beweglichkeit im Metatarsophalangealgelenk und Interphalangealgelenk am ersten Strahl, das getragene Schuhwerk, die Stabilität und Stellung der Großzehe.

Die Verteilung ist der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Ein hoher Punktewert geht einher mit einem guten Ergebnis, ein niedriger Punktewert mit einem schlechten Ergebnis.

Tabelle 2: AOFAS Score nach Kiatoka et al. 1994 [64]:

Schmerzen		
	Keine	40 Punkte
	Leicht, gelegentlich	30 Punkte
	Mäßig, täglich	20 Punkte
	Stark, immer	0 Punkte
Funktion		
Belastungseinschränkung	Keine Einschränkung	10 Punkte
	Keine Einschränkung täglicher Aktivitäten, aber eingeschränkte Freizeitaktivitäten	7 Punkte
	Einschränkung von täglichen Aktivitäten und Freizeitaktivitäten	4 Punkte
	Starke Einschränkungen täglicher Aktivitäten und Freizeitaktivitäten	0 Punkte
Schuhe	Normale Schuhe ohne Einlagen	10 Punkte
	Schuhe mit Einlagen	5 Punkte
	Spezialschuhe bzw. modifizierte Konfektionsschuhe	0 Punkte
Beweglichkeit des MTP-Gelenkes (Dorsalextension/Plantarflexion)	Normal oder gering eingeschränkt (über 74%) (10)	10 Punkte
	Geringfügig eingeschränkt (30° bis 74°)	5-9 Punkte
	Stark eingeschränkt (unter 30°)	0-4 Punkte
Beweglichkeit des IP Gelenkes (Plantarflexion)	Keine Einschränkung	5 Punkte
	Starke Einschränkung (unter 10°)	0 Punkte
MTP IP Stabilität (alle Richtungen)	Stabil	5 Punkte
	Instabil	0 Punkte
Schwielen MTP IP des Hallux	Keine/ asymptomatisch	5 Punkte
	Symptomatisch	0 Punkte

Stellung der Großzehe		
	Gut	15 Punkte
	Zufriedenstellend, geringe bzw leichte asymptomatische Fehlstellung	8 Punkte
	Schlecht, offensichtliche symptomatische Fehlstellung	0 Punkte

Maximal
100 Punkte

Tabelle 3: Gesamtbewertung des AOFAS Score:

Gesamtbewertung des Kitaoka Scores	
Excellent	91-100 Punkte
Gut	71-90 Punkte
Befriedigend	61-70 Punkte
Schlecht	Unter 61 Punkte

Tabelle 4: Beurteilung der Gelenkbeweglichkeit Metatarsophalangeal

Beurteilung der Gelenkbeweglichkeit Metatarsophalangeal	
Über 75°	10 Punkte
65°-70°	9 Punkte
60°-65°	8 Punkte
55°-60°	7 Punkte
50°-55°	6 Punkte
45°-50°	5 Punkte
40°-45°	4 Punkte
35°-40°	3 Punkte
30°-35°	2 Punkte
25°-30°	1 Punkte
Unter 30°	0 Punkte

2.4. Radiologische Untersuchung

Von jedem Fuß wurde eine Röntgenaufnahme im dorsoplantaren Strahlengang und eine streng seitliche Aufnahme angefertigt [2]. Die Aufnahmen wurden im Stehen angefertigt, um eine Aussage über die Belastungssituation treffen zu können. Es besteht eine optimale Vergleichbarkeit zwischen den präoperativen und postoperativen Aufnahmen. Wie von Condon [83] empfohlen, erfolgte die Untersuchung durch einen Untersucher. Die radiologische Auswertung wurde zweimalig unter Bildung von Mittelwerten wiederholt. Die Ausmessung erfolgte digital, hierzu wurden Winkelmaße im Hilfsmenü unter Dicom-Pacs der Firma Oehm & Rehbein verwendet.

Der Intermetatarsalewinkel I/II



Der Intermetatarsalewinkel beschreibt den Winkel zwischen der Schafthalbierenden des Os metatarsale eins und zwei [20, 81].

Ein Winkel unter 10° gilt als physiologisch [55]. Eine Divergenz zwischen dem ersten und zweiten Metatarsale wird als Metatarsus primus varus bezeichnet und findet sich typischerweise beim Hallux valgus.

Abbildung 2:
Intermetatarsalewinkel I/II

Der Hallux Valgus Winkel



Der Hallux Valgus Winkel (synonym Metatarsophalangealwinkel) bezeichnet die Beziehung zwischen der Schafthalbierenden der Grundphalanx und der Schafthalbierenden des Metatarsale I. Er beträgt normalerweise 10-15°. Diesem Winkel wird eine hohe klinische Bedeutung beigemessen, da er die „kosmetische“ Abweichung der Großzehe nach lateral beschreibt.

Abbildung 3:
Hallux Valgus Winkel

Tibiale Sesambeinposition



Hardy und Clapham [20] konnten den Bezug zwischen der Schwere des Hallux valgus und der Sesambeinposition belegen.

Die Einteilung erfolgt anhand der Position des tibialen Sesambeines in Bezug auf die Längsachse des Metatarsale I Schafts.

Physiologisch ist die tibiale Sesambeinposition 3, die allerdings mit der Zunahme der Deformität weiter ansteigt. Es kommt schließlich zu einer Medialdeviation des Metatarsale-I-Köpfchen gegenüber den Sesambeinen.

Abbildung 4:
Tibiale Sesambeinposition

Die Position des tibialen Sesambeins (TSP) wird von TSP 1 bis TSP 7 von medial nach lateral klassifiziert.

Tabelle 5: Tibiale Sesambeinposition

Tibiale Sesambeinposition (TSP)	
TSP 1	Das Sesambein liegt deutlich medial der Schafthalbierenden
TSP 2	Das Sesambein berührt die Schafthalbierende lateral
TSP 3	Das Sesambein überlappt die Schafthalbierende lateral
TSP 4	Das Sesambein überlappt die Schafthalbierende um mehr als die Hälfte
TSP 5	Das Sesambein überlappt die Schafthalbierende medial
TSP 6	Das Sesambein berührt die Schafthalbierende medial
TSP 7	Das Sesambein liegt deutlich lateral der Schafthalbierenden

Kongruenz des Metatarsophalangealgelenkes, mediale und laterale Inkongruenz

Die Kongruenz bzw. Inkongruenz wird ermittelt, indem man die Begrenzungen der Gelenkflächen jeweils miteinander verbindet und dadurch 2 Linien erhält, die bei einem kongruenten Gelenk parallel zueinander stehen.



- 1.) kongruentes Gelenk: die Linien liegen parallel zueinander.
- 2.) Inkongruentes Gelenk: die Linien kreuzen sich außerhalb des Gelenkes.
- 3.) Subluxiertes Gelenk: die Linien kreuzen sich innerhalb des Gelenkes.
- 4.) Luxiertes Gelenk: Grundphalanx und Metatarsale artikulieren nicht mehr miteinander

Abbildung 5:
Kongruenz MTP

Metatarsalindex



Der Metatarsaleindex gibt Auskunft über die relative Länge des ersten und zweiten Metatarsale [55, 56].

Die Schafthalbierende des Metatarsale I wurde nach proximal verlängert, bis sie die Schafthalbierende des Metatarsale II schneidet. Um den Schnittpunkt wird nun ein Kreisbogen zum jeweiligen Metatarsalekopf geschlagen. Nun sieht man, ob das Metatarsale I länger oder kürzer als das Metatarsale II ist.

Abbildung 6:
Metatarsaleindex

Tabelle 6: Tibiale Sesambeinposition

Metatarsaleindex	
Minus-Index	Das Metatarsale I ist kürzer als das Metatarsale II
Plus-Index	Das Metatarsale I ist länger als das Metatarsale II
Plus-minus-Index	Beide Metatarsalia sind gleich lang

Metatarsale I/II Elevationswinkel

Dieser Winkel misst die Elevation des Metatarsale-I-Köpfchens in Bezug auf das Metatarsale-II-Köpfchen in der seitlichen Röntgenaufnahme.

Die Röntgenaufnahmen erfolgen unter Belastung, daher ist die Stellung des ersten Strahles in Relation auf den plantaren Bodenkontakt und in Relation auf das zweite Metatarsale ein Index für die Lastaufnahme des ersten Strahles.

Er ergibt sich aus je einer Linie an der dorsalen Corticalis zwischen der Basis und dem Köpfchen des Metatarsale I und der Basis und dem Köpfchen des Metatarsale II.



Abbildung 7: Elevationswinkel I/II

2.5. Pedobarographische Untersuchung

Die Pedobarographie ist eine Methode um Aussagen über die Belastung der Fußsohle beim Gehen treffen zu können [99, 102]. In der Literatur erwähnte Morton 1930 das erste Verfahren zur dynamischen Messung. Seit Mitte der 1980er Jahre erfolgte die zunehmende Weiterentwicklung der Methode [104].

Mittlerweile hat die Pedobarographie durch die technische Entwicklung stark an Bedeutung dazu gewonnen [105]. Der Vorteil liegt in der einfachen und praktischen Handhabung und fehlenden Invasivität des Verfahrens [100].

Man unterscheidet zwischen statischen Messungen im Barfußstand und dynamischen Messungen im Gang. Statische Messungen liefern eine quantitative Aussage der Belastung zu einem fixen Zeitpunkt, dynamische Messungen ergänzen die Möglichkeit, Veränderungen der Belastung in der Abrollphase erfassen zu können. Die unterschiedlichen Verfahren zur Quantifizierung des Abrollmusters liefern keine identischen, jedoch korrelierende Ergebnisse [101].

Die Pedobarographie ist besonders zur Untersuchung des Barfußganges geeignet [99].

Für die pedobarographische Untersuchung in dieser Studie wurde eine Druckmessplatte Emed X, der Firma Novel GmbH, Ismaningerstrasse 50, 81675 München, Deutschland, verwendet.

Die Plattform besitzt 6080 geeichte kapazitive Sensoren mit einer Ortsauflösung von 4 Sensoren/cm² zusammen und misst die plantare Fußbelastung mit einer Frequenz von 100 Hz. Die Sensoren können Druckwerte von 10 bis maximal 1270 kPa bei einer Gesamtkraft von 193000 N erfassen. Die Größe der Platte betrug 69,0 cm x 40,3 cm x 1,9 cm mit einer aktiven Messfläche von 47,5 cm x 32,0 cm. Es konnte eine Auflösung von 4 Sensoren pro Quadratzentimeter erzielt werden.

Die Druckmessplatte war in einem entsprechend großem Raum untergebracht um

eine entsprechende Bewegungsfreiheit zu gewährleisten.

Um ein Focussieren des Probanden auf die Messplatte oder einen spürbaren Höhenunterschied beim Auftreten zu verhindern, war die Plattform in Bodenplatten eingelassen. Damit war sie auf Niveau der Gehstrecke. Auch hat sich die Plattform optisch nicht von den Bodenplatten unterschieden.

Nach entsprechender Instruktion der Probanden wurden diese zunächst gebeten einschränkende Oberbekleidung und ihre Schuhe auszuziehen.

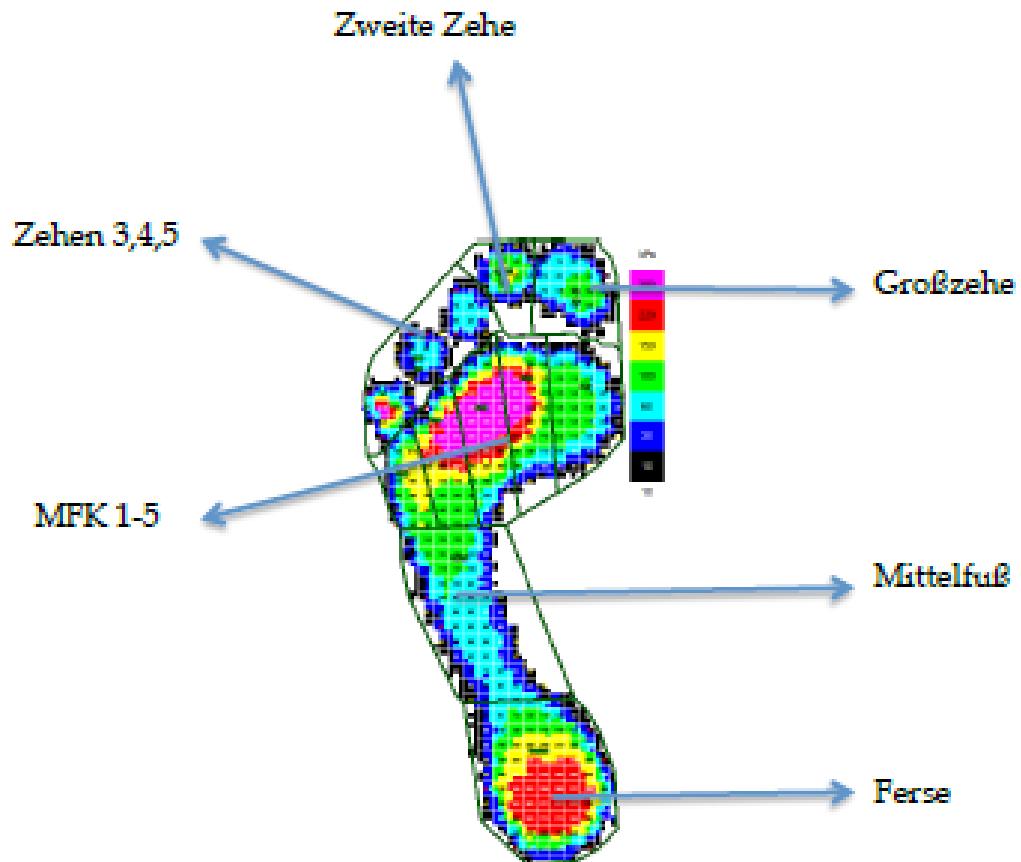
Die Probanden wurden anschließend aufgefordert barfuß in für sie normaler und gewohnter Schrittänge und selbst gewählter Geschwindigkeit über die Bodenplatten, und damit auch über die eingelassene Messplatte zu gehen. Mehrere Probendurchläufe waren gestattet, um zum einen die individuelle Startposition zu ermitteln, aber auch, um Beschleunigungs- oder Verzögerungseffekten vorzubeugen. Um ein abruptes Stehenbleiben zu vermeiden und einen flüssigen Bewegungsablauf zu gewährleisten gingen die Patienten jeweils 4 Schritte vor und hinter der Platte in ihrem individuellen Gangrhythmus weiter.

Die Messungen wurden so lange wiederholt und aufgezeichnet bis jeweils 6 verwertbare Gangzyklen für den linken und rechten Fuß aufgezeichnet waren.

Die Probanden wurden während der Messung nicht darüber informiert, ob der Fuß suffizient auf die Plattform getreten ist. Dadurch sollte ein bewusstes und übertriebenes Auftreten auf die Plattform vermieden werden.

Für die Datenanalyse wurden die aufgezeichneten Schritte automatisch über die Software Novel masks in 6 Regionen unterteilt:

Ferse, Mittelfuß, MFK 1-5, Großzehe, zweite Zehe, Zehen 3,4,5 .



Graphik 3: standardisierte Einteilung der Fußmasken

Anschließend wurden die Fußdruckmuster mittels eines kommerziellen Auswerteprogramms analysiert (Novel database medical 19.3.15, Novel GmbH, Ismaningerstrasse 50, 81675 München, Deutschland).

Für diese Studie wurden die Vorfußmasken für die Regionen unter den Metatarsaleköpfchen 1 bis 5, der Großzehe als auch der Kleinzehen berücksichtigt.

Es wurden die Mittelwerte hinsichtlich des Maximaldrucks und des Kraft-Zeit-Integrals aufgezeichnet.

Die Maximalkraft bezeichnet die höchste gemessene Gesamtkraft innerhalb einer Maske. Es wird die höchste vertikale Kraft gemessen, die auf die entsprechende

Region des Fußes während der Belastung einwirkt. Die Kraft wird in Newton [N] angegeben.

Das Kraft-Zeit-Integral, beziehungsweise der Impuls bezieht sich auf die Fläche unter der Kraft-Zeit-Kurve. Der Impuls macht eine Aussage über die Dauer und Höhe einer Krafteinwirkung in einem bestimmten Fußareal. Das Kraft-Zeit-Integral wird in Newton pro Sekunde angegeben [N/s].

2.6. Statistische Auswertung

Die Datenanalyse erfolgte mittels SPSS 11.5.1., hierbei wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den unten genannten Merkmalen gesucht. Als Maße dienten das arithmetische Mittel der Standardabweichung und der Mittelwert.

Die Vergleiche der Mittelwerte erfolgten mit dem gepaarten T-Test und dem Wilcoxon-Test.

Der gepaarte T-Test ist ein Signifikanztest aus der mathematischen Statistik und prüft anhand der Mittelwerte zweier Stichproben, ob die Grundgesamtheit gleich ist. Der Wilcoxon Test ist ein nichtparametrischer Test.

Er prüft anhand zweier gepaarter Stichproben die Gleichheit der Grundgemeinsamkeit.

Zum Nachweis linearer Zusammenhänge zwischen intervallskalierten Merkmalen wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson errechnet. Anschließend wurden die Korrelationen zweizeitig auf Signifikanz getestet.

Das Signifikanzniveau wurde folgendermaßen festgelegt: p-Werte kleiner als 0,001 gelten als hochsignifikant und p-Werte zwischen 0,01 und 0,05 als Trend.

Um die Abhängigkeit verschiedener Parameter untereinander zu untersuchen, wird für die zu vergleichenden Werte der Korrelationskoeffizient r errechnet. Für eine signifikante Korrelation ($p < 0,05$) ergibt sich eine lineare Abhängigkeit bei $r > 0,349$.

3. Ergebnisse

3.1. Auswertung AOFAS Score

Unter Berücksichtigung des AOFAS Scores wurden präoperativ $59 \pm SD 12$ und postoperativ $88 \pm SD 10$ der maximal 100 zu erreichenden Punkten erreicht. Somit kam es zu einem Anstieg des AOFAS Score um 29 Punkte. Die Unterschiede sind hochsignifikant bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p<0,001$.

19 Patienten erreichten im postoperativen Score Werte über 90.

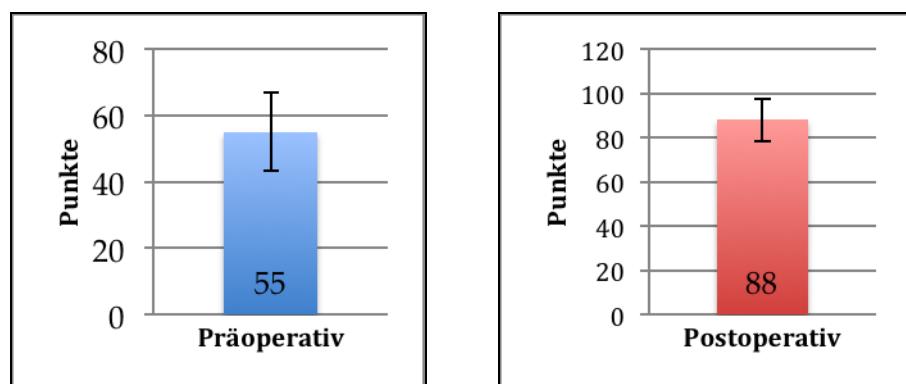
13 Patienten erreichten in der postoperativen Erhebung des AOFAS Score Werte zwischen 80 und 89 Punkte, 6 Patienten erreichten Werte zwischen 70 und 79, bei 2 Patienten ergaben sich Werte zwischen 60 und 69.

Tabelle 7: Mittelwerte/ Standardabweichung AOFAS Score

	N	Mittelwert	Standardabweichung
Präoperativ	40	59	11,8
Postoperativ	40	88	9,7

* $p<0,001$

Grafik 4: Gesamtscore - Mittelwerte Durchschnitt



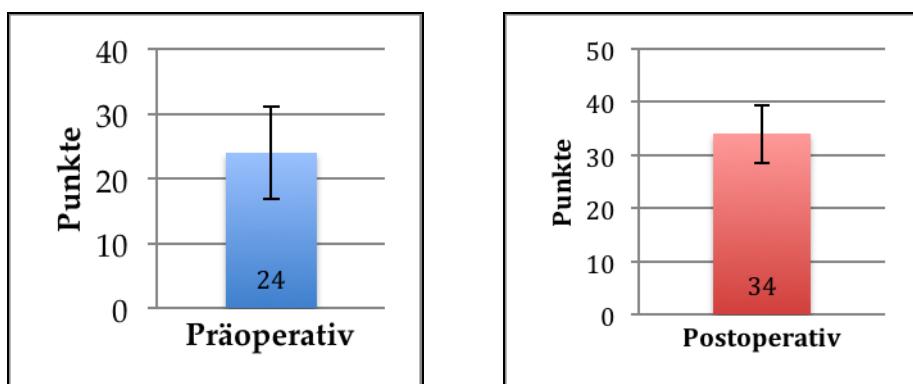
Im folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Items des AOFAS Score im Vergleich präoperativ zu postoperativ angegeben.

Die Beurteilung der 40 operierten Füße unter Verwendung des AOFAS Scores zeigte postoperativ in 19 Fällen keine Schmerzen; in 20 Fällen leichte, gelegentliche Schmerzen und in 1 Fall noch mäßige tägliche Schmerzen.

Tabelle 8: Schmerzen AOFAS Score

	N	Mittelwert	Standardabweichung
Präoperativ	40	24	7,1
Postoperativ	40	34	5,5

Grafik 5: Mittelwerte Schmerzen



Die unten dargestellte Tabelle 9 und Grafik 6 zeigen die postoperative Änderung der Belastungseinschränkungen.

In 18 Fällen kam es postoperativ zu keinerlei Bewegungseinschränkungen bei täglichen Aktivitäten, im Beruf oder Freizeit.

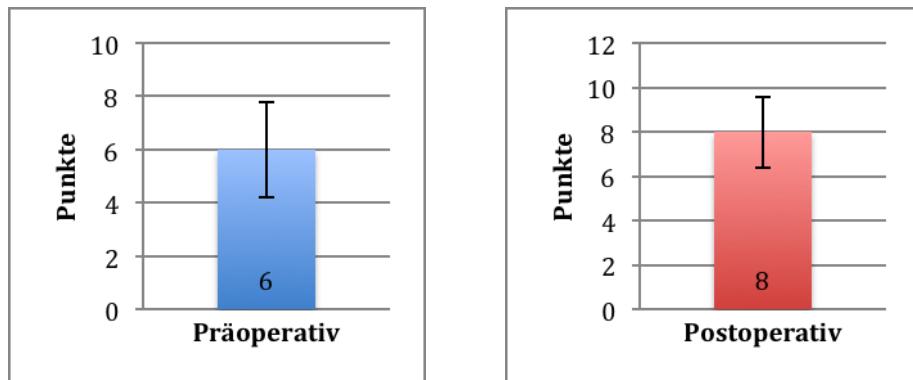
In 21 Fällen kam es zu keinen Einschränkungen im Beruf und täglichen Arbeiten, aber zu Einschränkungen bei Freizeitbetätigungen wie z.B. Sport.

In 1 Fall kam es zu Einschränkungen bei täglichen Arbeiten und Freizeitaktivitäten.

Tabelle 9: Belastungseinschränkungen AOFAS Score

	N	Mittelwert	Standardabweichung
Präoperativ	40	6	1,8
Postoperativ	40	8	1,6

Grafik 6: Mittelwerte Belastungseinschränkungen



Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung konnten 29 Patienten normale Konfektionsschuhe tragen.

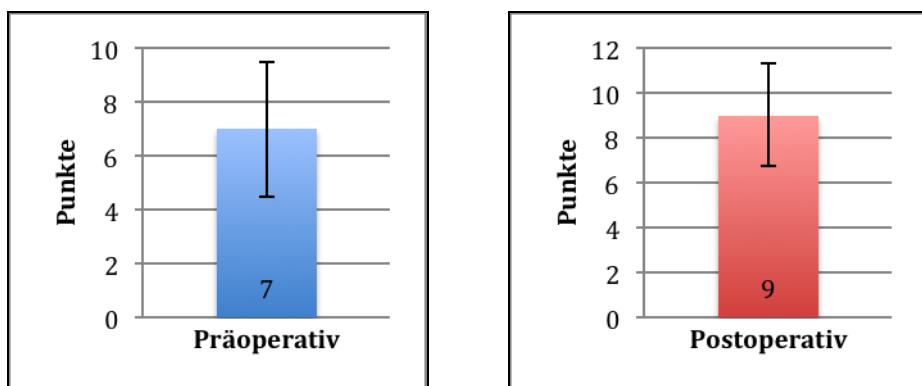
11 Patienten benötigten Schuhe mit Einlagen.

Keiner der Patienten in der Nachuntersuchung war auf maßangefertigte Schuhe oder andere Hilfsmittel angewiesen.

Tabelle 10: Schuhe AOFAS Score

	N	Mittelwert	Standardabweichung
Präoperativ	40	7	2,5
Postoperativ	40	9	2,3

Grafik 7: Mittelwerte Schuhe



Der passive Bewegungsumfang im ersten Metatarsophalangealgelenk betrug sowohl präoperativ als auch postoperativ durchschnittlich 73° . Minimal wurden präoperativ 40° und maximal 80° erreicht. Postoperativ lag das Minimum ebenfalls bei 40° und das Maximum bei 80° .

Tabelle 11: Beweglichkeit MTP I AOFAS Score

	N	Mittelwert	Standardabweichung
Präoperativ	40	73°	$8,7^\circ$
Postoperativ	40	73°	$9,2^\circ$

Die Beweglichkeit im Interphalangealgelenk lag sowohl präoperativ als auch postoperativ bei allen Patienten im Normbereich.

Tabelle 12: Beweglichkeit IP AOFAS Score

	N	Mittelwert	Standardabweichung
Präoperativ	40	>10°	0
Postoperativ	40	>10°	0

Bei allen Patienten konnte sowohl präoperativ als auch postoperativ keine Instabilität am Metatarsophalangealgelenk und am Interphalangealgelenk festgestellt werden.

Tabelle 13: MTP/ IP Stabilität AOFAS Score

	N	Mittelwert	Standardabweichung
Präoperativ	40	4	2
Postoperativ	40	5	1,1

Bei 3 Patienten konnte postoperativ eine Beschwielung festgestellt werden, diese war jedoch asymptatisch und bereitete klinisch keine Beschwerden.

Tabelle 14: Beschwielung AOFAS Score

	N	Mittelwert	Standardabweichung
Präoperativ	40	1	2,1
Postoperativ	40	5	1,3

32 Patienten hatten postoperativ eine gute Stellung der Großzehe, 8 Patienten hatten eine zufriedenstellende, geringe bzw. leichte asymptomatische Fehlstellung.

Tabelle 15: Stellung der Großzehe AOFAS Score

	N	Mittelwert	Standardabweichung
Präoperativ	40	3	3,8
Postoperativ	40	14	2,8

Alle 40 Patienten antworteten in der abschließenden Nachuntersuchung auf die Frage, ob sie sich erneut operieren lassen würden mit ja.

3.2. Radiologische Auswertung

Für die radiologisch ermittelten **Hallux valgus Winkel** ergaben sich die unten aufgeführten Änderungen:

Der durchschnittliche Hallux valgus Winkel konnte präoperativ mit 35° und postoperativ mit 14° gemessen werden. Damit konnte eine Verkleinerung des Hallux valgus Winkels um 21° erreicht werden. Eine Vergrößerung des Hallux valgus Winkels wurde postoperativ nicht beobachtet.

Grafik 8: Mittelwerte Hallux valgus Winkel

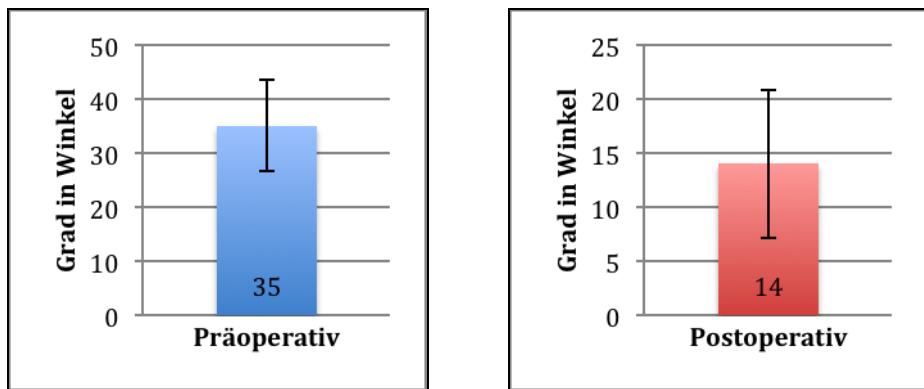


Tabelle 16: Hallux valgus Winkel

	N	Mittelwert	Standardabweichung
Präoperativ	40	34,5	8,5
Postoperativ	40	14,3	6,9

Abbildung 8: Korrektur Hallux valgus Winkel am Beispiel



Der durchschnittliche präoperative Intermetatarsalwinkel betrug präoperativ 14° , postoperativ 5° . Dadurch konnte eine Korrektur um 9° erreicht werden.

Grafik 9: Mittelwerte Intermetatarsalewinkel (IMW)

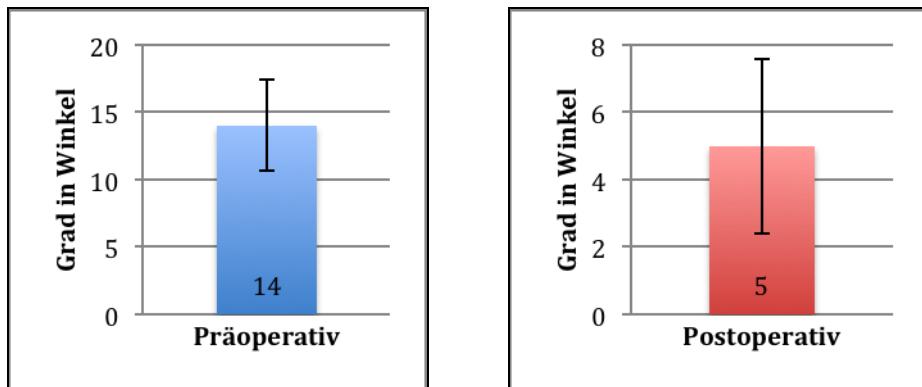


Tabelle 17: Intermetatarsalewinkel (IMW)

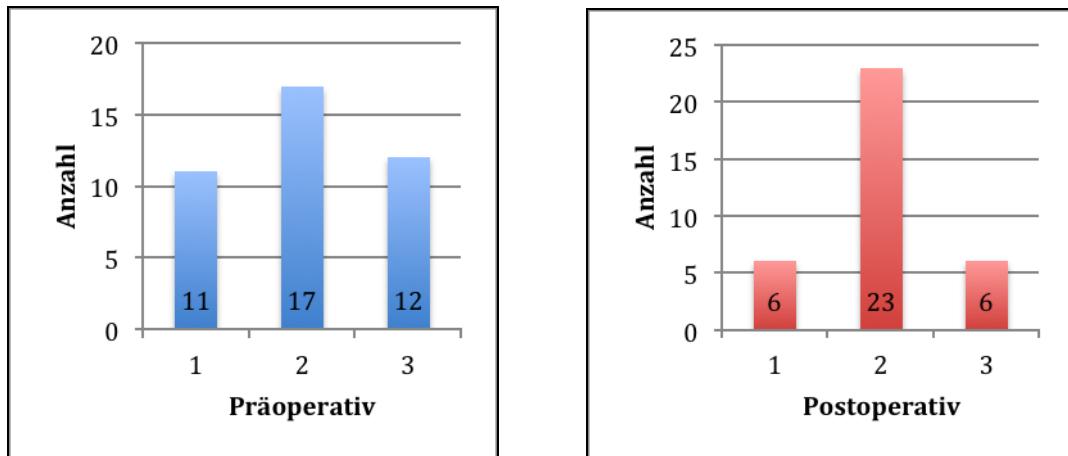
	N	Mittelwert	Standardabweichung
Präoperativ	40	14,2	3,4
Postoperativ	40	4,78	2,6

Abbildung 9: Korrektur Intermetatarsalewinkel am Beispiel



Sowohl prä- als auch postoperativ dominierte ein negativer Metatarsaleindex. Dies entspricht einer Verkürzung des ersten Strahls in Relation zur zweiten Zehe. Präoperativ lag der Anteil eines in Relation kürzeren Metatarsale I bei 42,5 %, postoperativ bei 57,5%.

Grafik 10: Metatarsale-Index Präoperativ



1 = Plusindex, 2= Minus-Index, 3= Plus/Minus-Index

Tabelle 18: Metatarsaleindex

	N	Plus-Index	Minus-Index	Plus/Minus-Index
Präoperativ	40	11	17	12
Postoperativ	40	6	23	6

Durch den Eingriff änderte sich im Durchschnitt die Position der tibialen Sesambeine um 2,7 Positionen nach medial in die Richtung der gewünschten Korrekturstellung.

Tabelle 19: Tibiale Sesambeinposition

	N	Mittelwert	Standardabweichung
Präoperativ	40	5,1	1,7
Postoperativ	40	2,4	1,8

Grafik 11: Mittelwerte Tibiale Sesambeinposition

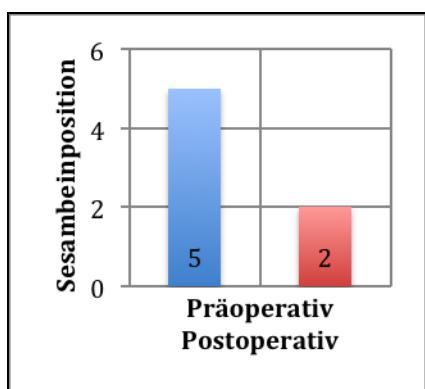
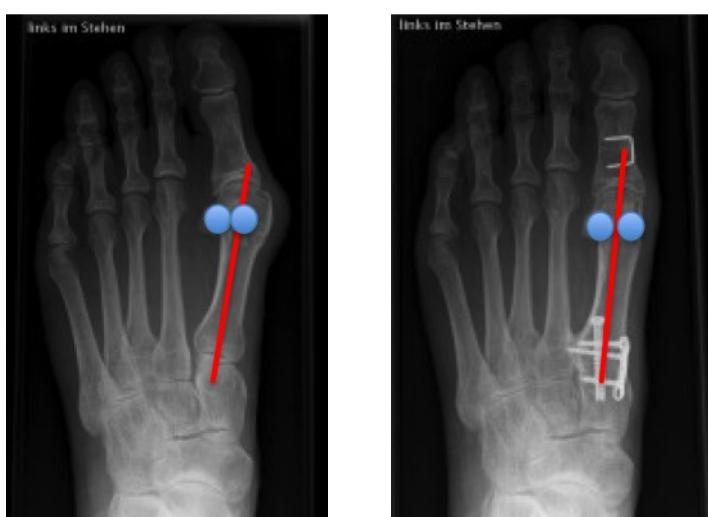


Tabelle 20: Tibiale Sesambeinposition

TSBP (n=40)	1	2	3	4	5	6	7
Präoperativ	0	0	3	11	10	11	5
Postoperativ	4	20	13	3	0	0	0

Abbildung 10: Korrektur der Sesambeinposition am Beispiel



Der durchschnittliche präoperative Elevationswinkel betrug 3° , postoperativ 1° . Es konnte eine Korrektur um 2° erreicht werden, der erste Strahl wurde somit plantarisirt.

Tabelle 21: Elevationswinkel I/II

	N	Mittelwert	Standardabweichung
Präoperativ	40	3	1,3
Postoperativ	40	1,3	0,8

Grafik 12: Mittelwerte Elevationswinkel I/II

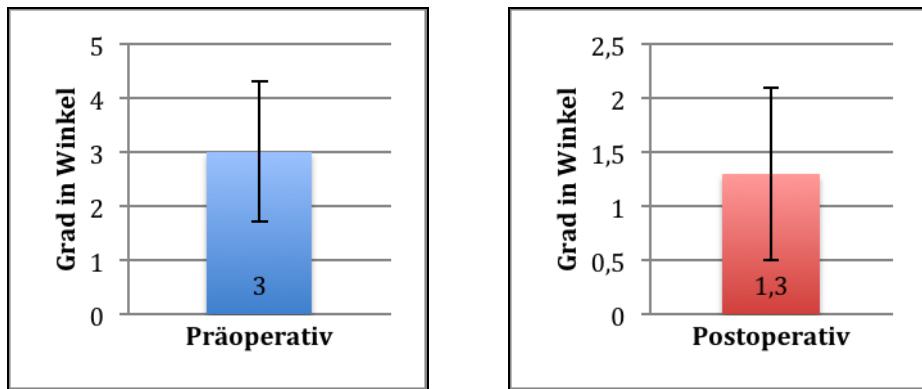


Abbildung 11: Korrektur des Elevationswinkels I/II am Beispiel

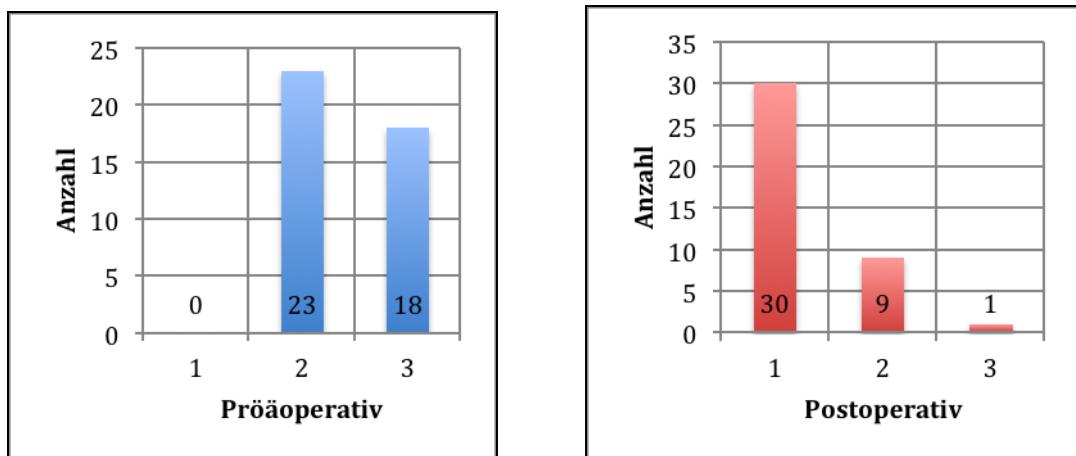


Die unten abgebildete Tabelle 22 und Grafik 13 zeigen die Kongruenz am Großzehengrundgelenk in der a.p. - Aufnahme. Das postoperative Ergebnis zeigt, dass das Großzehengrundgelenk in Bezug auf die Gelenkflächen wieder kongruent steht.

Tabelle 22: Kongruenz am MTP-I-Gelenk

	N	Kongruent	Inkongruent	Subluxiert
Präoperativ	40	0	23	17
Postoperativ	40	30	9	1

Grafik 13: Kongruenz am MTP-I-Gelenk



1= Kongruent; 2= Inkongruent; 3= Subluxiert

Abbildung 12: Kongruenz MTP-I-Gelenk am Beispiel



3.3. Pedobarographische Auswertung

In diesem Teil wird die Korrektur der Mittelwerte der pedobarographisch ermittelten Maximalkraft und des Kraft-Zeit-Integrals unter den Metatarsaleköpfchen eins bis fünf und der Großzehe ausgewertet.

Dazu wurde das Gesamtkollektiv $n=40$ zunächst in eine Untergruppe mit $n=33$ Patienten mit alleiniger Lapidusarthrodese, und eine Untergruppe mit $n=7$ Patienten mit begleitender Korrektur einer symptomatischen Kleinzehendeformität am zweiten oder dritten Strahl aufgeteilt. Abschließend wurde das Gesamtkollektiv betrachtet.

Abbildung 13: Lapidusarthrodese

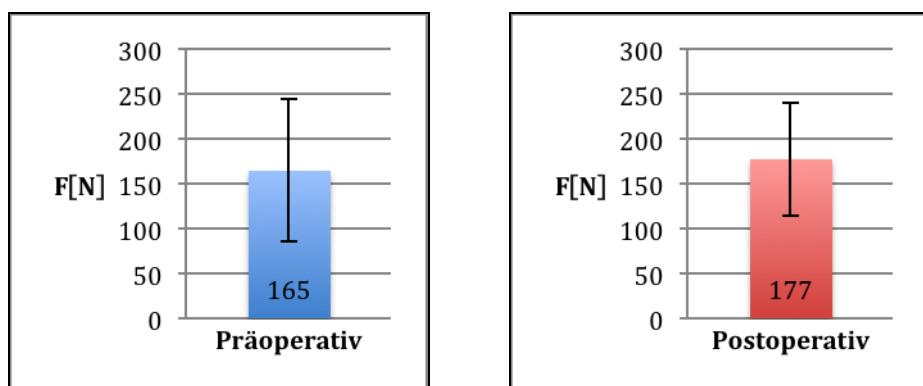


Zunächst wurden die Werte der Maximalkraft unter dem Metatarsaleköpfchen eins bis fünf ($n=33$) nach alleiniger Lapidusarthrodese am ersten Strahl ausgewertet.

Es zeigte sich die Tendenz, daß die Maximalkraft von den lateral Metatarsale auf die medialen Metatarsale verlagert wurde.

Die Maximalkraft unter dem ersten Metatarsaleköpfchen stieg bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,254$ von präoperativ $165 \text{ N} \pm \text{SD } 79$ auf $177 \text{ N} \pm \text{SD } 63$.

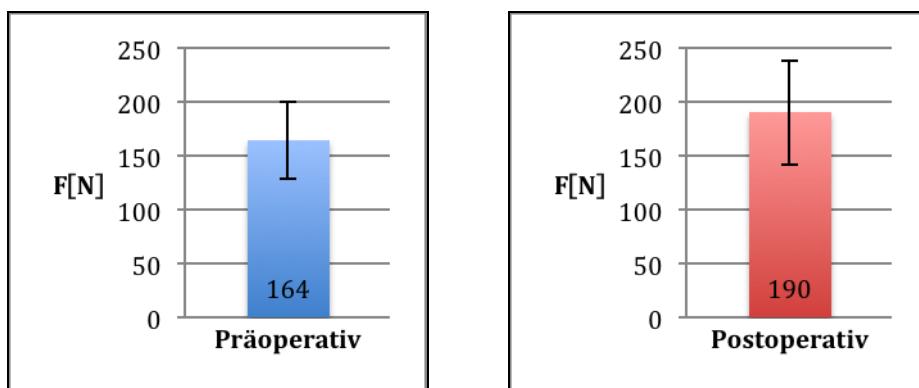
Grafik 14: Mittelwerte der Maximalkraft MTK 1 ($n=33$)



Den prozentual höchsten Zuwachs der Maximalkraft fand man beim Mittelwertvergleich gemessen unter dem zweiten Metatarsaleköpfchen.

Der präoperativ ermittelte Wert von $164 \text{ N} \pm \text{SD } 36$ stieg auf postoperativ $190 \text{ N} \pm \text{SD } 48$. Die Mittelwerte unterschieden sich signifikant bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p = 0,003$.

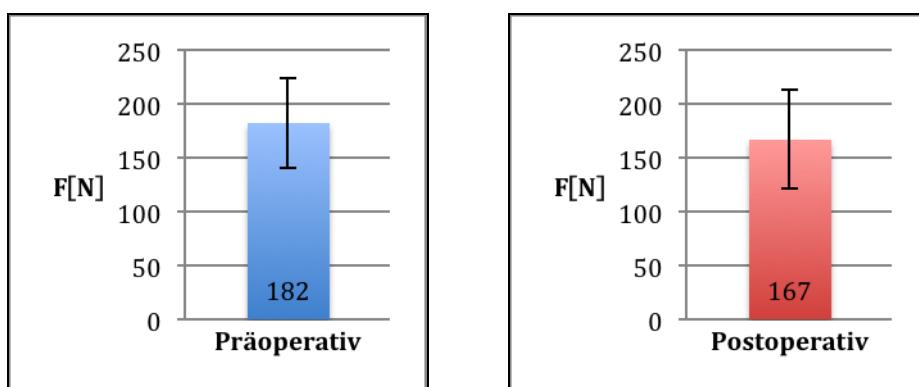
Grafik 15: Mittelwerte der Maximalkraft MTK 2 (n=33)



Eine Abnahme der Maximalkraft fand sich unter dem dritten bis fünften Metatarsaleköpfchen. Die Änderung war am zweiten und dritten jeweils signifikant bei $p < 0,05$. Der Vergleich der Mittelwerte unter dem fünften Metatarsaleköpfchen lag bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p = 0,09$.

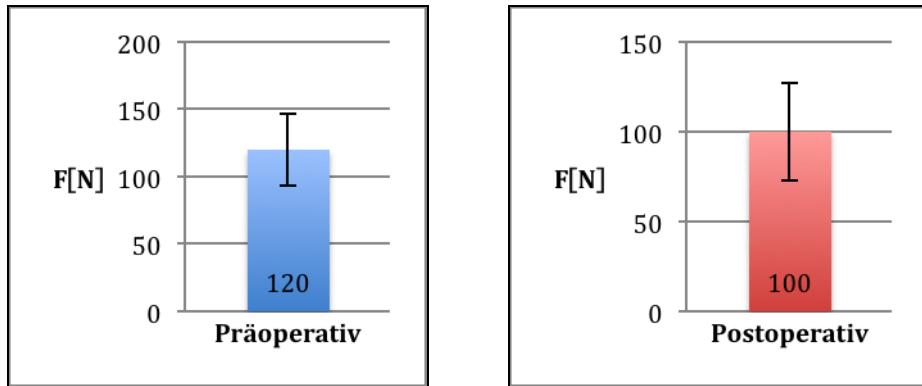
Die Maximalkraft unter dem dritten Metatarsaleköpfchen fiel von präoperativ $182 \text{ N} \pm \text{SD } 42$ auf postoperativ $167 \text{ N} \pm \text{SD } 46$.

Grafik 16: Mittelwerte der Maximalkraft MTK 3 (n=33)



Die Maximalkraft unter dem vierten Metatarsaleköpfchen reduzierte sich hochsignifikant von präoperativ $120 \text{ N} \pm \text{SD } 27$ auf postoperativ $100 \text{ N} \pm \text{SD } 30$.

Grafik 17: Mittelwerte der Maximalkraft MTK 4 (n=33)



Ein geringer Rückgang der Mittelwerte war auch gemessen unter dem fünften Metatarsaleköpfchen festzustellen. Der Wert sank von präoperativ $53 \text{ N} \pm \text{SD } 23$ auf postoperativ $49 \text{ N} \pm \text{SD } 26$ ab bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,09$.

Grafik 18: Mittelwerte der Maximalkraft MTK 5 (n=33)

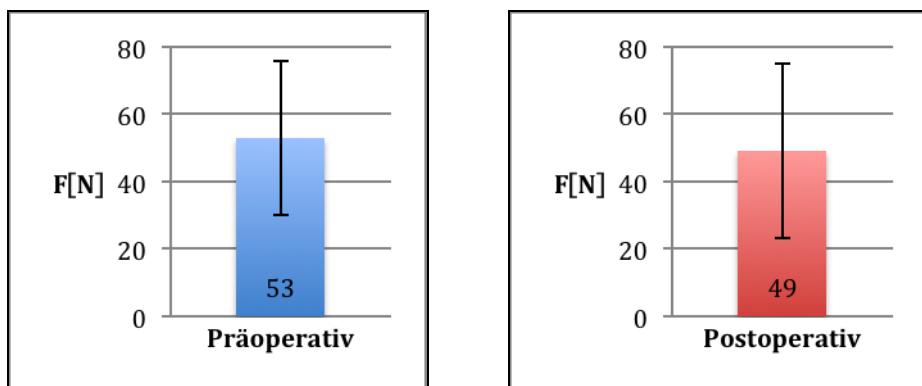


Tabelle 23: Mittelwertvergleich der Maximalkraft MFK 1 bis MFK 5 prä/post (n=33)

n = 33	Mittelfußköpfchen	Mittelwert	SD	Signifikanz
Paar 1	MFK 1- prä	165	79	,254
	MFK 1 -post	177	63	
Paar 2	MFK 2 -prä	164	36	,003
	MFK 2 -post	190	48	
Paar 3	MFK 3 -prä	182	42	,004
	MFK 3 -post	167	46	
Paar 4	MFK 4 -prä	120	27	,000
	MFK 4 -post	100	30	
Paar 5	MFK 5 -prä	53	23	,090
	MFK 5 -post	49	26	

Mittelwertvergleich der Maximalkraft unter den Metatarsaleköpfchen eins bis fünf (n=7) mit zusätzlicher Osteotomie am zweiten oder dritten Strahl

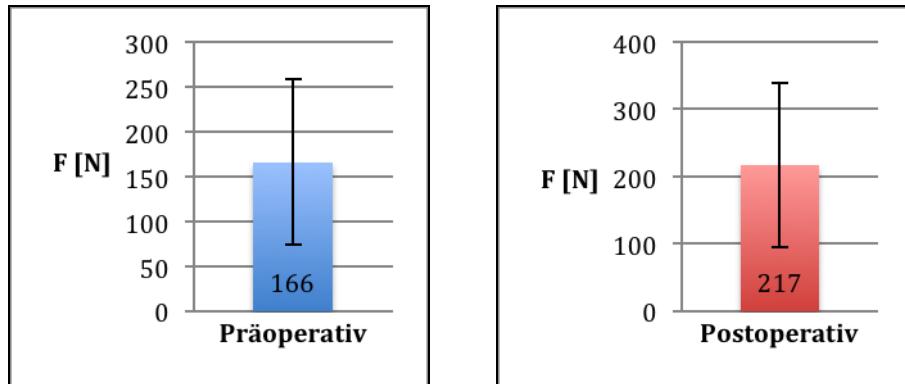


Ähnliche Ergebnisse fanden sich in der Gruppe der Patienten mit zusätzlicher Korrekturosteotomie am zweiten oder dritten Strahl (n=7). Die Änderung der Werte zeigen, abgesehen vom ersten Metatarsale, keine signifikanten Unterschiede. Auch hier resultierte ein Anstieg der Maximalkraft unter dem ersten und zweiten Metatarsale bei gleichzeitiger Abnahme unter den lateralen Metatarsalia.

Abbildung 14: Beispiel

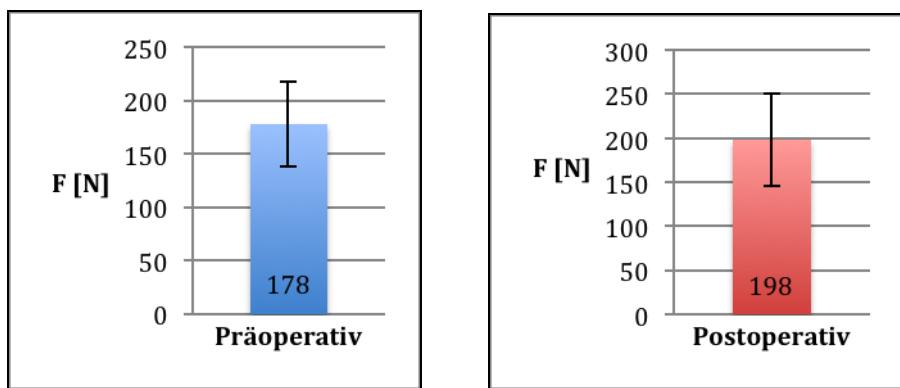
Unter dem ersten Metatarsaleköpfchen kam es zu einem Anstieg von präoperativ 166 N \pm SD 92 auf postoperativ 217 N \pm SD 123. Die Werte änderten sich signifikant bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von p=0,027.

Grafik 19: Mittelwerte der Maximalkraft MTK 1 (n=7)



Die Mittelwerte der Maximalkraft erhöhten sich gemessen unter dem zweiten Metatarsaleköpfchen von präoperativ 178 N \pm SD 40 auf postoperativ 198 N \pm SD 53. Die Irrtumswahrscheinlichkeit lag bei p=0,173.

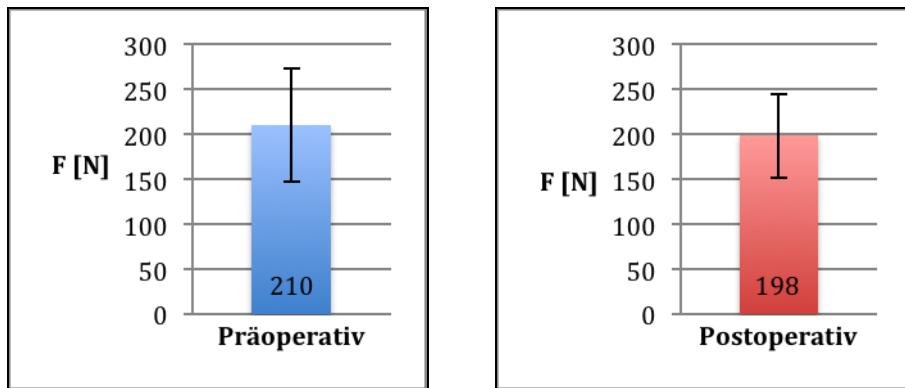
Grafik 20: Mittelwerte der Maximalkraft MTK 2 (n=7)



Analog zu der Gruppe n=33 reduzierte sich die Maximalkraft gemessen unter dem dritten, vierten und fünften Metatarsaleköpfchen.

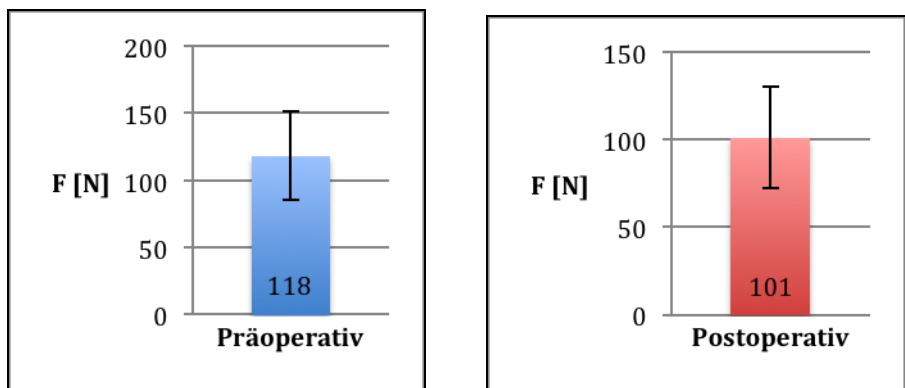
Unter dem dritten Metatarsaleköpfchen verringerte sich die Maximalkraft von präoperativ $210 \text{ N} \pm \text{SD } 63$ auf postoperativ $198 \text{ N} \pm \text{SD } 47$. Die Mittelwerte lieferten jedoch keine signifikanten Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,461$.

Grafik 21: Mittelwerte der Maximalkraft MTK 3 (n=7)



Die Werte der Maximalkraft unter dem vierten Metatarsaleköpfchen reduzierten sich von $118 \text{ N} \pm \text{SD } 33$ auf $101 \text{ N} \pm \text{SD } 29$. Die Irrtumswahrscheinlichkeit lag bei $p=0,063$.

Grafik 22: Mittelwerte der Maximalkraft MTK 4 (n=7)



Am fünften Metatarsaleköpfchen änderte sich die Maximalkraft von präoperativ 45 N \pm SD 17 auf postoperativ 37 N \pm SD 12. Die Korrektur der Mittelwerte zeigten keine signifikanten Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,160$.

Grafik 23: Mittelwerte der Maximalkraft MTK 5 (n=7)

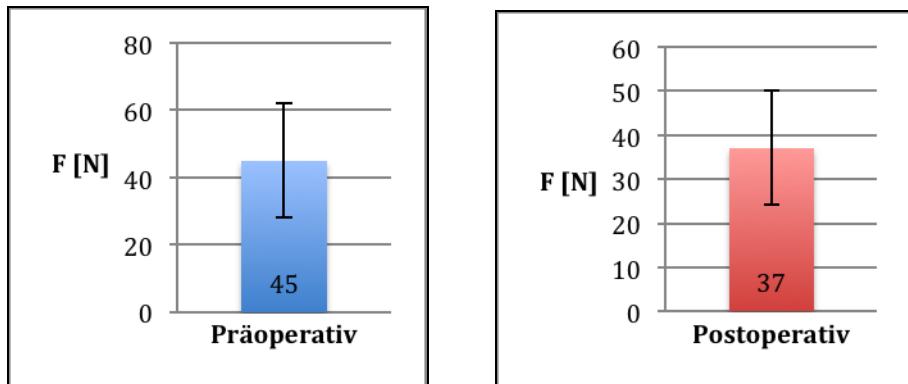


Tabelle 24: Mittelwertvergleich der Maximalkraft MFK 1 bis MFK 5 prä/post (n=7)

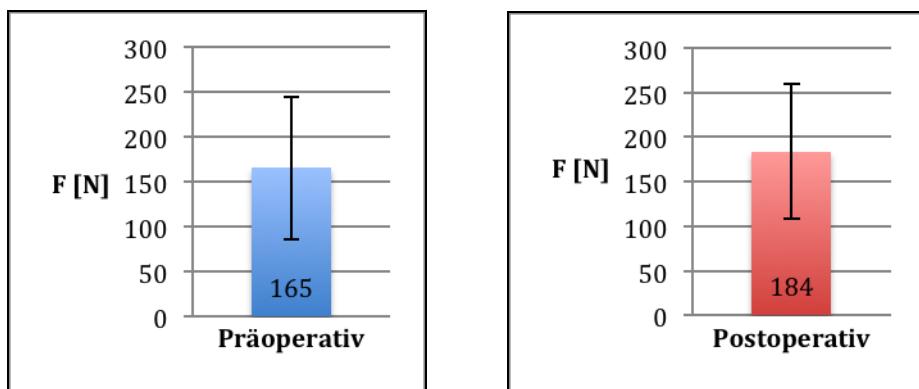
n = 7	Mittelfußköpfchen	Mittelwert	SD	Signifikanz
Paar 1	MFK 1- prä	166	92	,027
	MFK 1 -post	217	123	
Paar 2	MFK 2 -prä	178	40	,141
	MFK 2 -post	198	53	
Paar 3	MFK 3 -prä	210	63	,461
	MFK 3 -post	198	47	
Paar 4	MFK 4 -prä	118	33	,063
	MFK 4 -post	101	29	
Paar 5	MFK 5 -prä	45	17	,160
	MFK 5 -post	37	12	

Mittelwertvergleich der Maximalkraft unter den Metatarsaleköpfchen eins bis fünf für die Gesamtgruppe (n=40)

Betrachtet man das Gesamtkollektiv, zeigt sich folgendes Ergebnis: Auch hier wird ersichtlich, daß die Mittelwerte der Maximalkraft postoperativ lateral abfielen und medial zunahmen. Die Ergebnisse zeigen signifikante Unterschiede für das erste Metatarsaleköpfchen.

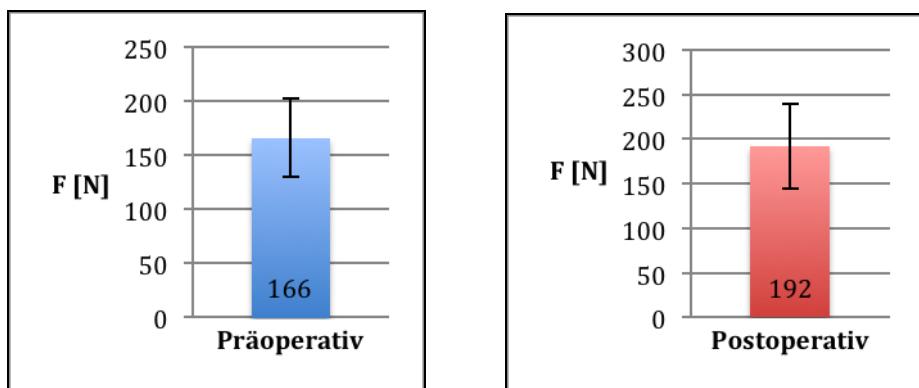
Unter dem ersten Metatarsale kam es zu einem Anstieg von präoperativ $165 \text{ N} \pm \text{SD} 80$ auf postoperativ $184 \text{ N} \pm \text{SD} 76$. Die Irrtumswahrscheinlichkeit lag bei $p=0,049$.

Grafik 24: Mittelwerte der Maximalkraft MTK 1 (n=40)



Der präoperativ ermittelte Wert am zweiten Metatarsaleköpfchen stieg von $166 \text{ N} \pm \text{SD} 36$ auf postoperativ $192 \text{ N} \pm \text{SD} 48$. Die Irrtumswahrscheinlichkeit lag bei $p = 0,097$ und gibt nur einen Trend an.

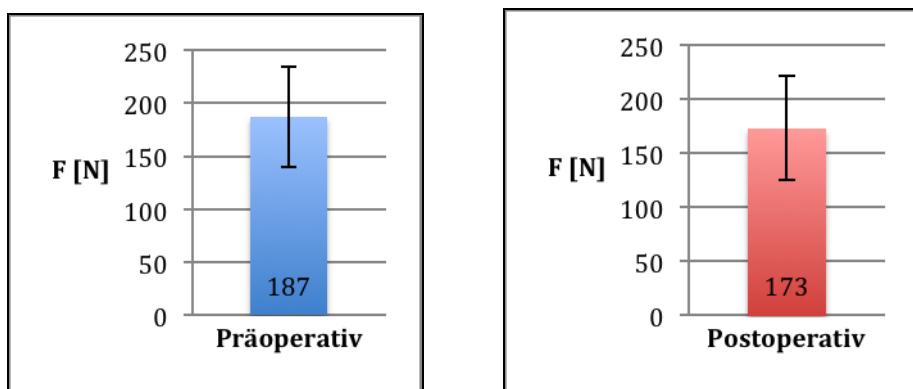
Grafik 25: Mittelwerte der Maximalkraft MTK 2 (n=40)



Analog zu den vorher beschriebenen Untergruppen verringerte sich die gemessene Maximalkraft gemessen unter dem dritten bis fünften Metatarsaleköpfchen.

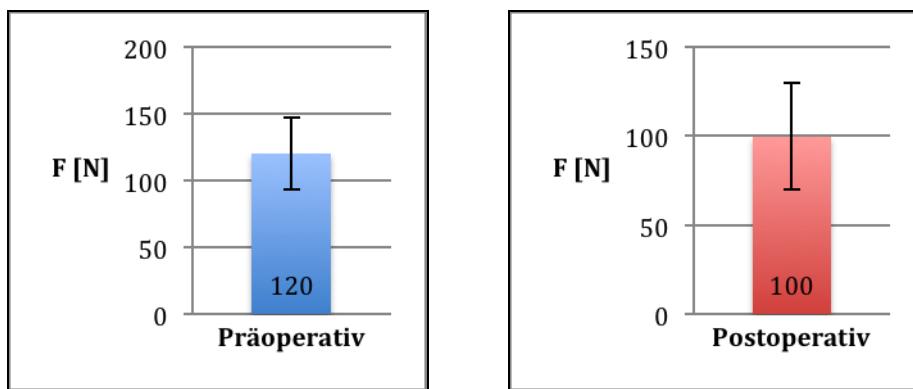
Die Maximalkraft unter dem dritten Metatarsaleköpfchen reduzierte sich von präoperativ 187 N \pm SD 47 auf postoperativ 173 N \pm SD 48. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wird mit $p=0,543$ angegeben.

Grafik 26: Mittelwerte der Maximalkraft MTK 3 (n=40)



Die Werte der Maximalkraft unter dem vierten Metatarsaleköpfchen fielen von 120 N \pm SD 22 auf 100 N \pm SD 25 bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,547$.

Grafik 27: Mittelwerte der Maximalkraft MTK 4 (n=40)



Am fünften Metatarsaleköpfchen fiel die Maximalkraft von präoperativ $52 \text{ N} \pm \text{SD } 17$ auf postoperativ $47 \text{ N} \pm \text{SD } 12$. Die Werte unterschieden sich signifikant bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,031$.

Grafik 28: Mittelwerte der Maximalkraft MTK 5 (n=40)

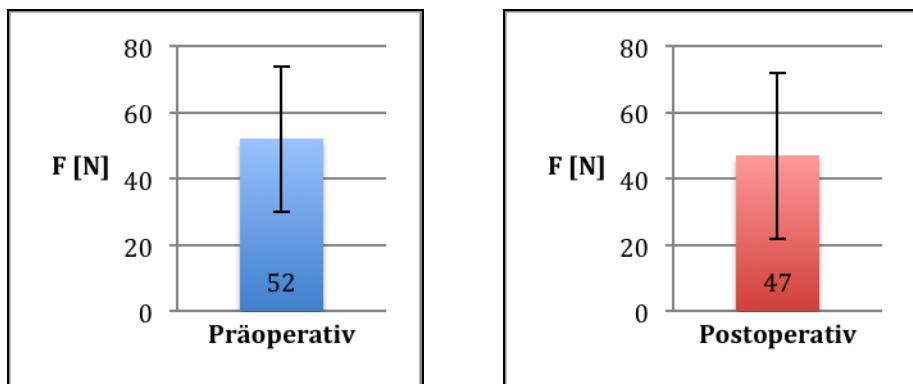


Tabelle 25: Mittelwertvergleich der Maximalkraft MFK 1 bis MFK 5 prä/post (n=40)

n = 40	Mittelfußköpfchen	Mittelwert	SD	Signifikanz
Paar 1	MFK 1- prä	165	80	,049
	MFK 1 -post	184	76	
Paar 2	MFK 2 -prä	166	36	,097
	MFK 2 -post	192	48	
Paar 3	MFK 3 -prä	187	47	,543
	MFK 3 -post	173	48	
Paar 4	MFK 4 -prä	120	27	,547
	MFK 4 -post	100	30	
Paar 5	MFK 5 -prä	52	22	,031
	MFK 5 -post	47	25	

Mittelwertvergleich der Maximalkraft für die Großzehe der Gesamtgruppe (n=40)

Betrachtet man im Gesamtkollektiv noch separat die Großzehe, ergibt sich folgendes Ergebnis für die Maximalkraft:

Durch die Korrekturarthrodese konnte die Maximalkraft von präoperativ $69 \text{ N} \pm \text{SD} 49$ auf $82 \text{ N} \pm \text{SD} 47$ erhöht werden. Die Werte zeigten bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,109$ keine signifikanten Unterschiede.

Grafik 29: Mittelwerte der Maximalkraft Großzehe (n=40)

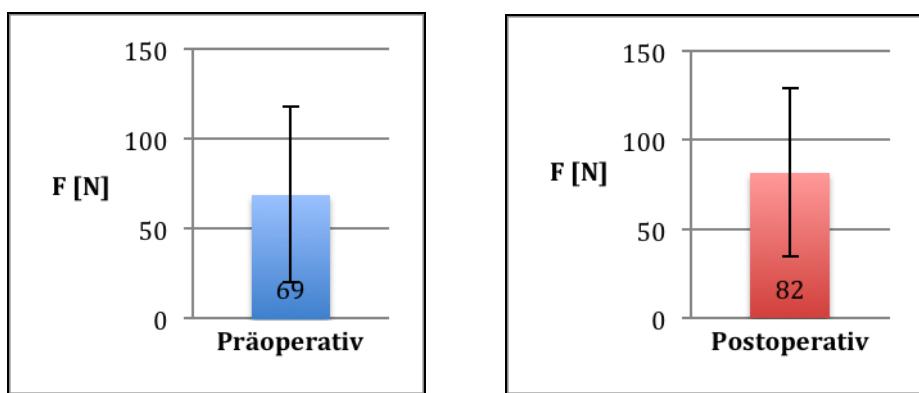


Tabelle 26: Mittelwertvergleich der Maximalkraft der Großzehe prä/post (n=40)

n = 40	Großzehe	Mittelwert	SD	Signifikanz
Paar	Großzehe- prä	69	49	,109
	Großzehe -post	82	47	

Mittelwertvergleich des Kraft-Zeitintegrals Metatarsaleköpfchen eins bis fünf (n=33) nach Lapidusarthrodese am ersten Strahl

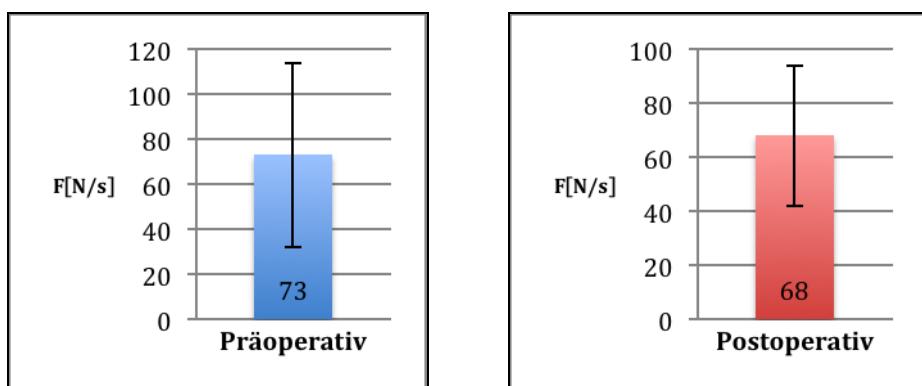


Innerhalb der Gruppe mit isolierter Lapidusarthrodese n=33 kam es mit Ausnahme des zweiten Metatarsale postoperativ zu einem Rückgang des Kraft-Zeit-Integrals. Die Änderung ist bezogen auf die Metatarsale drei und vier hochsignifikant bei $p<0,001$, am fünften Mittelfußköpfchen liegt die Irrtums-wahrscheinlichkeit bei $p=0,027$. Die Mittelwerte unter dem ersten und zweiten Mittelfußköpfchen zeigten durch die Operationsmethode keinen signifikanten Unterschied.

Abbildung 15: Beispiel Lapidusarthrodese

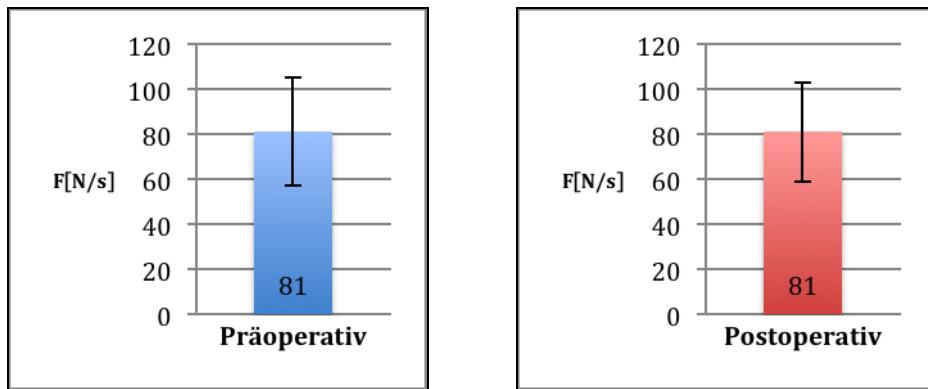
Unter dem ersten Metatarsale kam es zu einer geringen Abnahme der Mittelwerte von $73 \text{ N/s} \pm \text{SD } 41$ auf $68 \text{ N/s} \pm \text{SD } 26$. Die Irrtumswahrscheinlichkeit lag bei $p=0,361$.

Grafik 30: Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 1 (n=33)



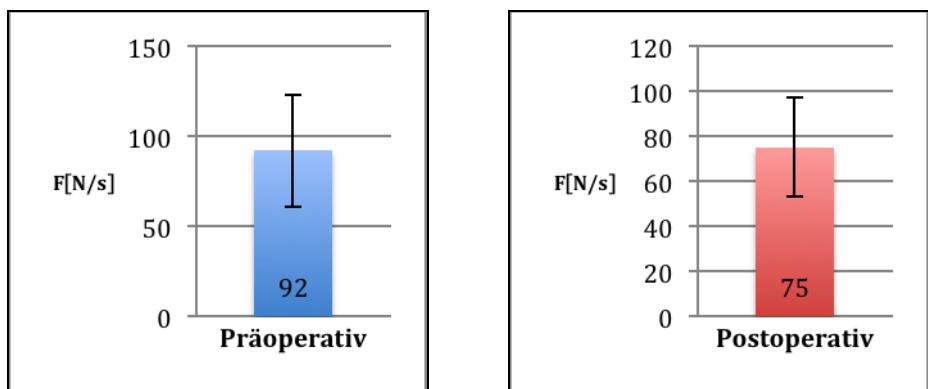
Das Kraft-Zeit-Integral unter dem zweiten Metatarsale zeigte keine Veränderung. Die Werte lagen präoperativ bei $81 \text{ N/s} \pm \text{SD } 24$ und postoperativ $81 \text{ N/s} \pm \text{SD } 22$.

Grafik 31: Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 2 (n=33)



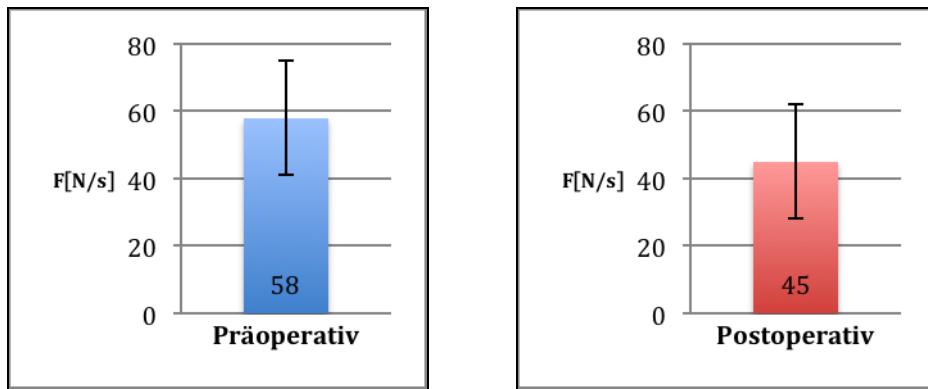
Einen deutlichen Rückgang des Kraft-Zeit-Integrals sahen wir unter dem dritten Metatarsale. Die Werte verkleinern sich von präoperativ $92 \text{ N/s} \pm \text{SD } 31$ auf $75 \text{ N/s} \pm \text{SD } 22$. Die ermittelten Werte unterschieden sich hochsignifikant bei $p<0,001$.

Grafik 32: Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 3 (n=33)



Ein ähnliches Ergebnis zeigte die Messung unter dem vierten Metatarsaleköpfchen. Das Kraft-Zeit-Integral fiel von präoperativ $58 \text{ N/s} \pm \text{SD } 17$ auf postoperativ $45 \text{ n/s} \pm \text{SD } 17$. Die ermittelten Werte unterschieden sich hochsignifikant bei $p<0,001$.

Grafik 33: Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 4 (n=33)



Die gemessenen Mittelwerte unter dem fünften Metatarsaleköpfchen waren ebenfalls rückläufig von präoperativ $23 \text{ N/s} \pm \text{SD } 11$ auf postoperativ $19 \text{ N/s} \pm \text{SD } 12$. Die Irrtumswahrscheinlichkeit betrug $p=0,027$.

Grafik 34: Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 5 (n=33)

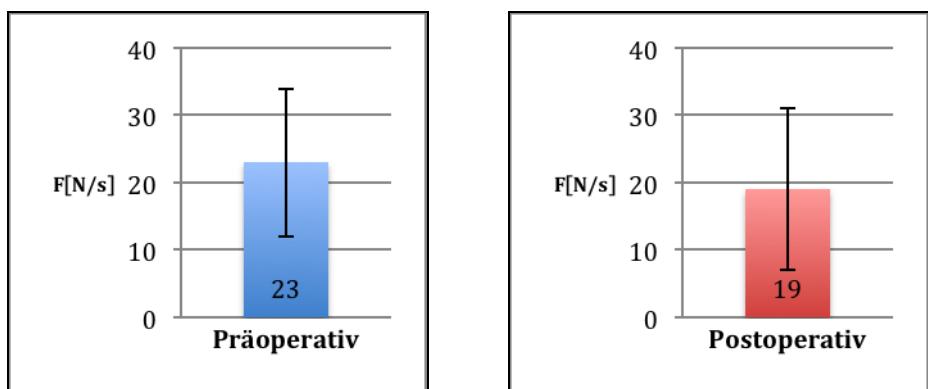


Tabelle 27: Mittelwertvergleich des Kraft-Zeit-Integrals MFK 1 bis MFK 5 prä/post (n=33)

n = 33	Mittelfußköpfchen	Mittelwert	SD	Signifikanz
Paar 1	MFK 1- prä	73	41	,361
	MFK 1 -post	68	26	
Paar 2	MFK 2 -prä	81	24	,872
	MFK 2 -post	81	22	
Paar 3	MFK 3 -prä	92	31	,000
	MFK 3 -post	75	22	
Paar 4	MFK 4 -prä	58	17	,000
	MFK 4 -post	45	17	
Paar 5	MFK 5 -prä	23	11	,027
	MFK 5 -post	19	12	

Mittelwertvergleich des Kraft-Zeitintegrals Metatarsaleköpfchen eins bis fünf (n=7) mit zusätzlicher Korrektur am zweiten oder dritten Strahl.

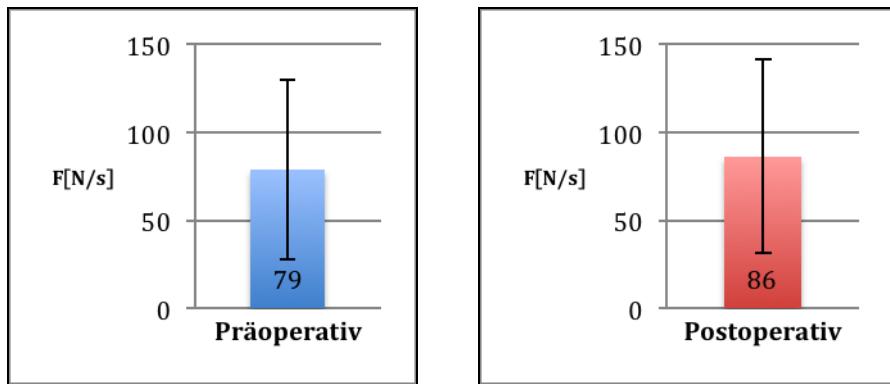


In der Gruppe der Patienten mit zusätzlicher Osteotomie im Bereich der zweiten Kleinzehe (n=7) kam es postoperativ, abgesehen vom ersten Metatarsale, zu einer Verringerung des Kraft-Zeit-Integrals. Die Werte zeigten jedoch keine signifikanten Unterschiede.

Abbildung 16: Beispiel Lapidusarthrodese

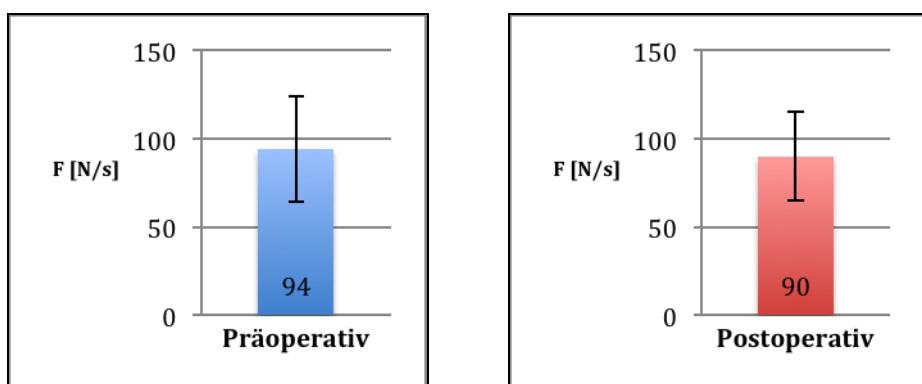
Unter dem ersten Metatarsale kam es zu einer Zunahme von präoperativ $79 \text{ N/s} \pm \text{SD } 52$ auf postoperativ $86 \text{ N/s} \pm \text{SD } 52$. Die Irrtumswahrscheinlichkeit lag bei $p=0,525$.

Grafik 35: Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 1 (n=7)



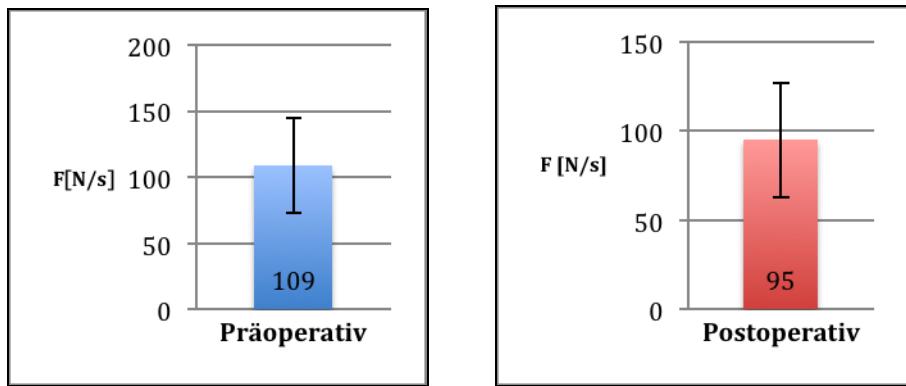
Das Kraft-Zeit-Integral unter dem zweiten Metatarsaleköpfchen verkleinerte sich von präoperativ $94 \text{ N/s} \pm \text{SD } 30$ auf postoperativ $90 \text{ N/s} \pm \text{SD } 25$. Die Irrtumswahrscheinlichkeit lag bei $p=0,608$.

Grafik 36: Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 2 (n=7)



Unter dem dritten Metatarsaleköpfchen kam es ebenfalls zu einer Abnahme von präoperativ $109 \text{ N/s} \pm \text{SD } 36$ auf postoperativ $95 \text{ N/s} \pm \text{SD } 32$. Die Irrtumswahrscheinlichkeit lag bei $p=0,270$.

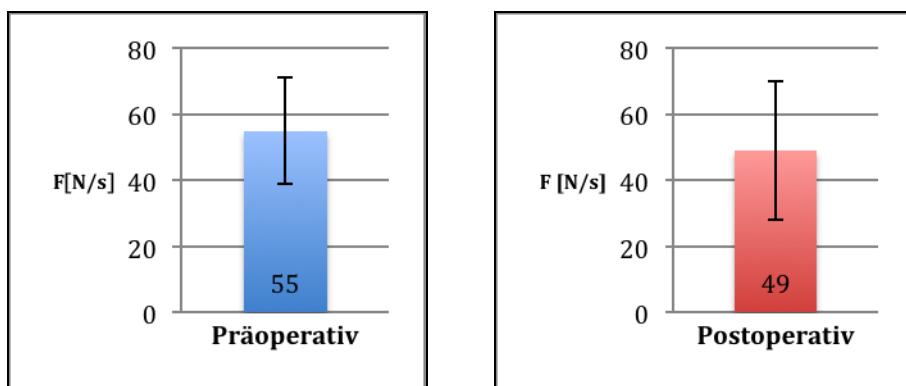
Grafik 37: Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 3 (n=7)



Eine deutliche Abnahme des Kraft-Zeit-Integrals ließ sich unter dem vierten Metatarsaleköpfchen messen.

Die Werte fallen von präoperativ $55 \text{ N/s} \pm \text{SD } 15$ auf postoperativ $49 \text{ N/s} \pm \text{SD } 21$. Die Irrtumswahrscheinlichkeit lag bei $p=0,432$.

Grafik 38: Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 4 (n=7)



Die Werte unter dem fünften Mittelfußköpfchen blieben annähernd konstant bei präoperativ $18 \text{ N/s} \pm \text{SD } 7$ und postoperativ $16 \text{ N/s} \pm \text{SD } 6$.

Die Irrtumswahrscheinlichkeit lag bei $p=0,396$.

Grafik 39: Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 5 (n=7)

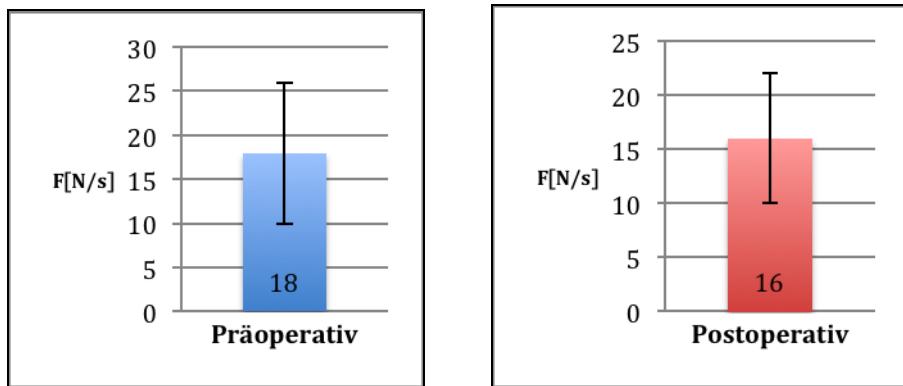


Tabelle 28: Mittelwertvergleich des Kraft-Zeit-Integrals MFK 1 bis MFK 5 prä/post (n=7)

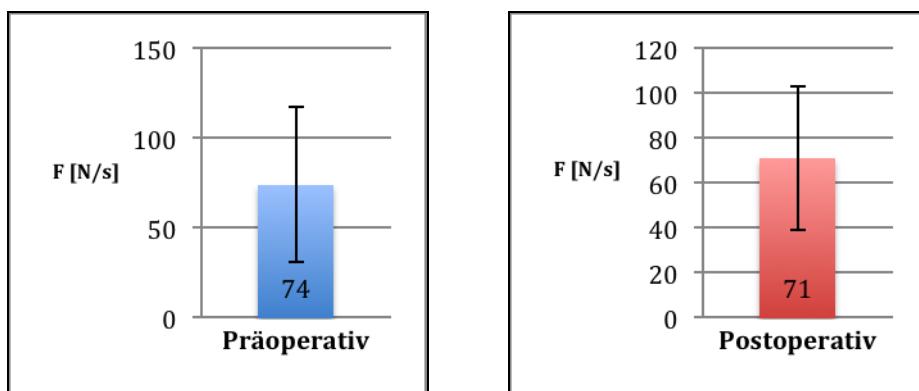
n = 7	Mittelfußköpfchen	Mittelwert	SD	Signifikanz
Paar 1	MFK 1- prä	79	52	,525
	MFK 1 -post	86	52	
Paar 2	MFK 2 -prä	94	30	,608
	MFK 2 -post	90	25	
Paar 3	MFK 3 -prä	109	36	,270
	MFK 3 -post	95	32	
Paar 4	MFK 4 -prä	55	15	,432
	MFK 4 -post	49	21	
Paar 5	MFK 5 -prä	18	7	,396
	MFK 5 -post	16	6	

Mittelwertvergleich des Kraft-Zeitintegrals Metatarsaleköpfchen eins bis fünf für die Gesamtgruppe (n=40)

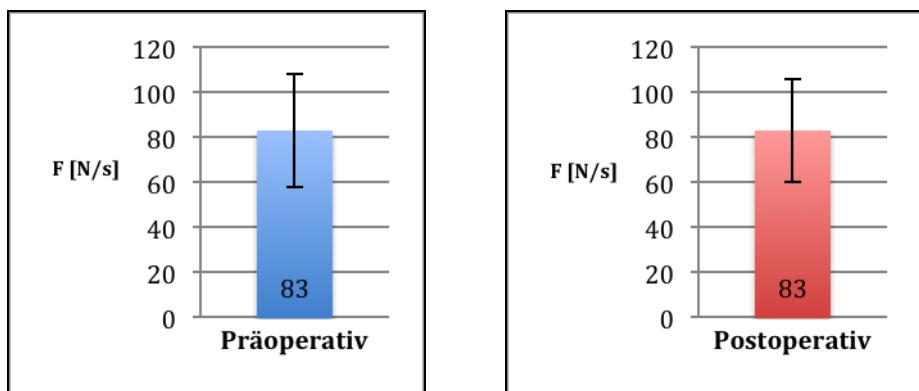
Betrachtet man das Gesamtkollektiv, kam es bezogen auf das erste und zweite Metatarsaleköpfchen zu keiner relevanten Änderung des Kraft-Zeit-Integrals. Unter dem dritten, vierten und fünften Metatarsaleköpfchen kam es jedoch zu einer signifikanten Abnahme des Kraft-Zeit-Integrals.

Am ersten und zweiten Metatarsaleköpfchen blieben die Werte annähernd konstant.

Grafik 40: Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 1 (n=40)

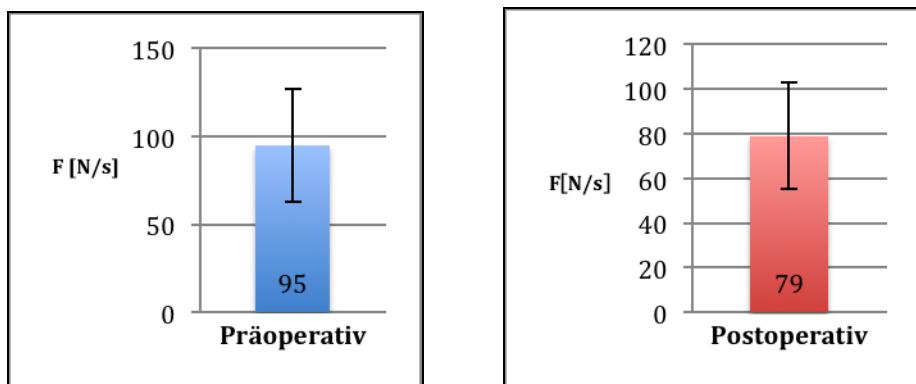


Grafik 41: Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 2 (n=40)



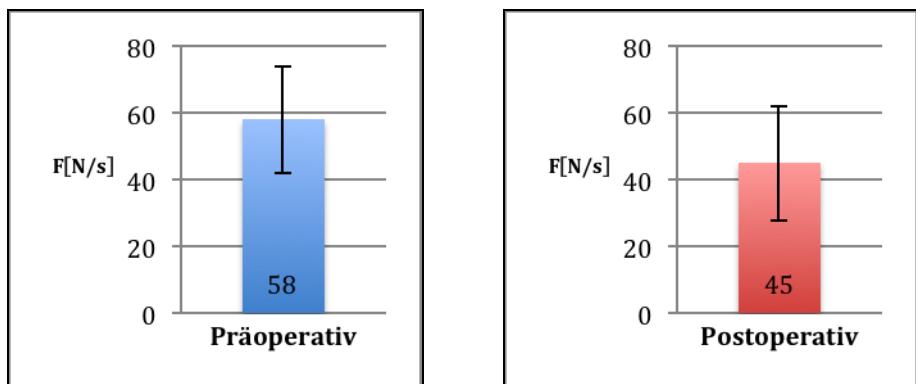
Einen Rückgang des Kraft-Zeit-Integrals beobachtete man unter dem dritten Metatarsaleköpfchen. Die Werte verringerten sich von präoperativ $95 \text{ N/s} \pm \text{SD } 32$ auf $79 \text{ N/s} \pm \text{SD } 24$. Der Unterschied war hochsignifikant bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p<0,001$.

Grafik 42: Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 3 (n=40)



Unter dem vierten Metatarsaleköpfchen fielen die Mittelwerte von präoperativ $58 \text{ N/s} \pm \text{SD } 16$ auf postoperativ $45 \text{ N/s} \pm \text{SD } 17$. Der Unterschied war hochsignifikant bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p<0,001$.

Grafik 43: Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 4 (n=40)



Ein ähnliches Ergebnis zeigt die Messung unter dem fünften Metatarsaleköpfchen. Hier verringerte sich das Kraft-Zeit-Integral von präoperativ $22 \text{ N/s} \pm \text{SD } 10$ auf postoperativ $18 \text{ N/s} \pm \text{SD } 11$. Der Unterschied war ebenfalls signifikant bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,016$.

Grafik 44: Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 5 (n=40)

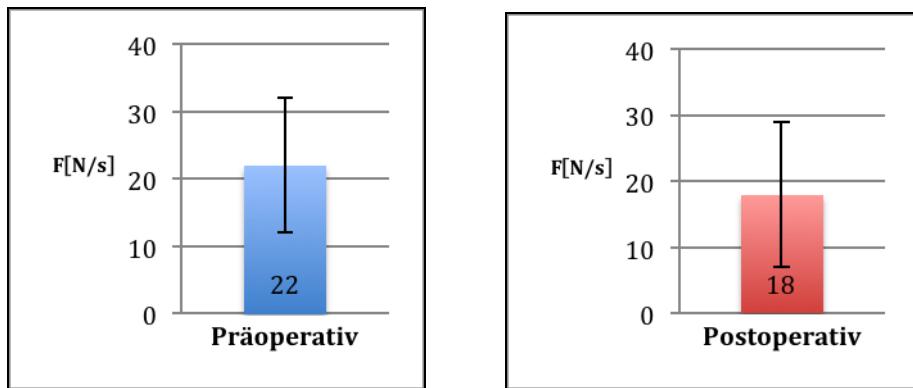


Tabelle 29: Mittelwertvergleich des Kraft-Zeit-Integrals MFK 1 bis MFK 5 prä/post (n=40)

n = 40	Mittelfußköpfchen	Mittelwert	SD	Signifikanz
Paar 1	MFK 1- prä	74	43	,543
	MFK 1 -post	71	32	
Paar 2	MFK 2 -prä	83	25	,990
	MFK 2 -post	83	23	
Paar 3	MFK 3 -prä	95	32	,000
	MFK 3 -post	79	24	
Paar 4	MFK 4 -prä	58	16	,000
	MFK 4 -post	45	17	
Paar 5	MFK 5 -prä	22	10	,016
	MFK 5 -post	18	11	

Mittelwertvergleich des Kraft-Zeit-Integrals für die Großzehe der Gesamtgruppe (n=40)

Das Kraft-Zeit-Integral änderte sich bezogen auf die Großzehe im Gesamtkollektiv folgendermaßen:

Vergleicht man die Mittelwerte kam es zu einer Abnahme von präoperativ $28 \text{ N} \pm \text{SD } 25$ auf $821 \text{ N} \pm \text{SD } 17$. Die Irrtumswahrscheinlichkeit lag bei $p=0,085$.

Grafik 45: Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals Großzehe (n=40)

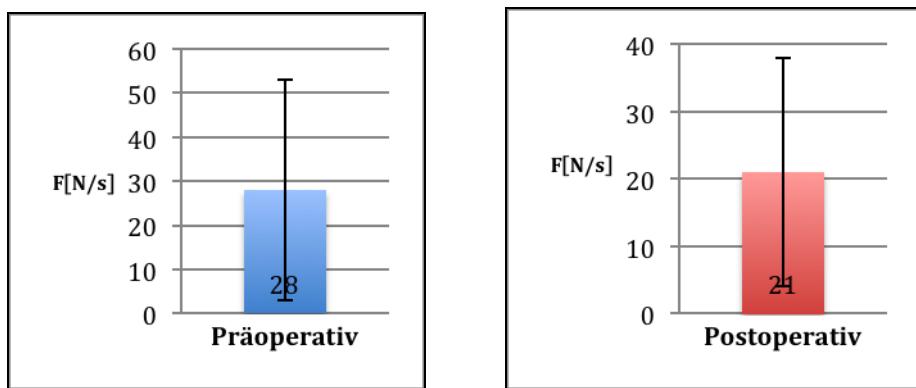


Tabelle 30: Mittelwertvergleich des Kraft-Zeit-Integrals der Großzehe prä/post (n=40)

n = 40	Großzehe	Mittelwert	SD	Signifikanz
Paar	Großzehe- prä	28	25	,085
	Großzehe -post	21	17	

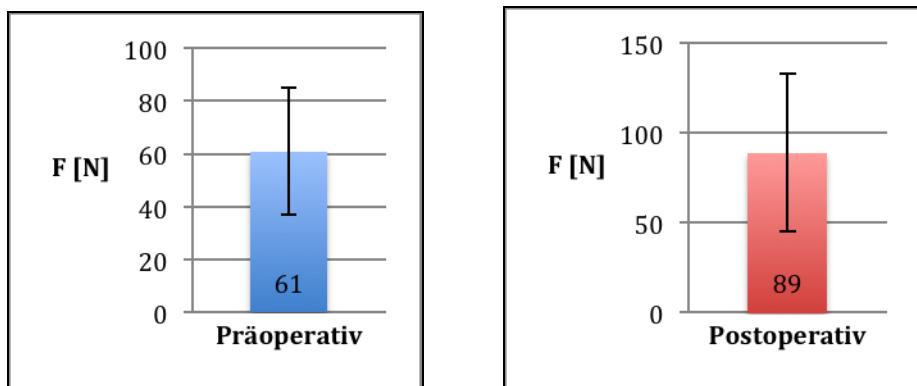
Mittelwertvergleich der Maximalkraft der Großzehe und des ersten Mittelfußköpfchens bei Patienten mit Akin Osteotomie

In diesem Studienabschnitt wurden die Mittelwerte der pedobarographisch ermittelten Maximalkraft in Bezug auf eine zusätzliche durchgeführte beziehungsweise nicht durchgeführte Osteotomie am Grundglied (Operation nach Akin) ausgewertet.

Im Gesamtkollektiv erfolgte bei n=19 Patienten die begleitende Grundgliedosteotomie, bei n=21 Patienten war dies nicht notwendig.

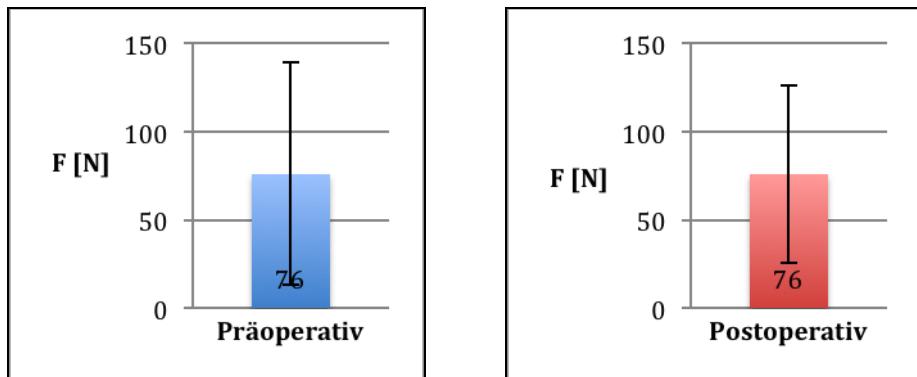
In der Gruppe der Patienten mit Akin-Osteotomie stieg die Maximalkraft der Großzehe postoperativ signifikant bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit mit $p=0,019$ von $61 \text{ N} \pm \text{SD } 24$ auf $189 \text{ N} \pm \text{SD } 44$.

Grafik 46: Mittelwerte der Maximalkraft der Großzehe nach Akin-Osteotomie (n=19)



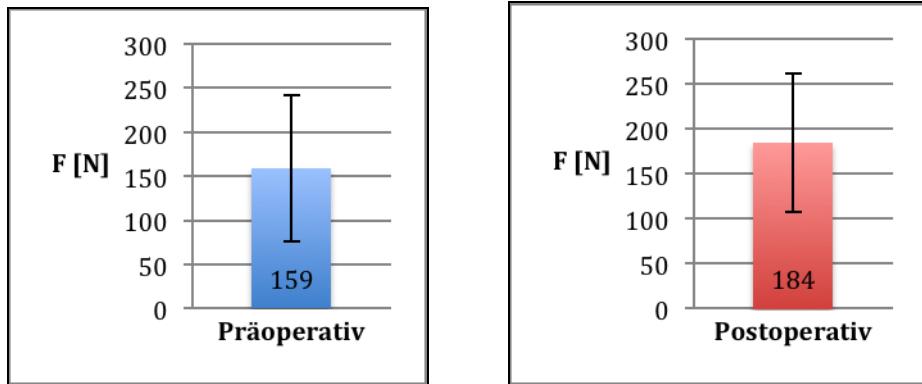
Ein konstanter Wert der Maximalkraft der Großzehe fand sich postoperativ in der Gruppe ohne zusätzliche Akin-Osteotomie. Hier blieben die Mittelwerte der Maximalkraft unverändert bei 76 N.

Grafik 47: Mittelwerte der Maximalkraft der Großzehe ohne Akin-Osteotomie (n=21)



Sowohl bei den Patienten mit als auch ohne Akin-Osteotomie kam es zu einem Anstieg der Maximalkraft gemessen unter dem ersten Mittelfußköpfchen. Bei der Gruppe mit Akin-Osteotomie stiegen die Mittelwerte von präoperativ $159 \text{ N} \pm \text{SD } 83$ auf postoperativ $184 \text{ N} \pm \text{SD } 77$.

Grafik 48: Mittelwerte der Maximalkraft MTK I mit Akin-Osteotomie (n=21)



Bei der Gruppe der Patienten ohne Akin-Osteotomie kam es zu einem Anstieg der Maximalkraft unter dem ersten Mittelfußköpfchen von präoperativ $171 \text{ N} \pm \text{SD } 79$ auf $184 \text{ N} \pm \text{SD } 77$. Bei beiden Gruppen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede.

Grafik 49: Mittelwerte der Maximalkraft MTK I ohne Akin-Osteotomie (n=21)

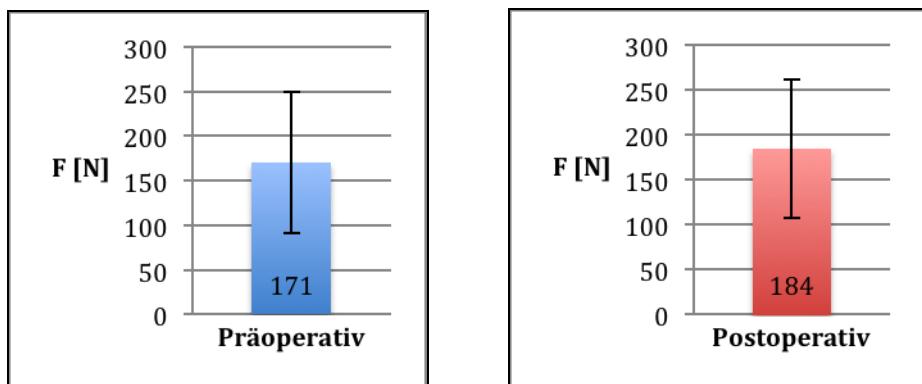


Tabelle 31: Mittelwertvergleich der Maximalkraft der Großzehe und des ersten Mittelfußköpfchens bei Patienten mit Akin-Osteotomie prä/post (n=19)

n =19		Mittelwert	SD	Signifikanz
Paar 1	GZEHMW- prä	61	24	,019
	GZEHMW -post	89	44	
Paar 2	MFK 1 -prä	159	83	,095
	MFK 1 -post	184	77	

Tabelle 32: Mittelwertvergleich der Maximalkraft der Großzehe und des ersten Mittelfußköpfchens bei Patienten ohne Akin-Osteotomie prä/post (n=21)

n =21		Mittelwert	SD	Signifikanz
Paar 1	GZEHMW- prä	76	63	,997
	GZEHMW -post	76	50	
Paar 2	MFK 1 -prä	171	79	,296
	MFK 1 -post	184	77	

Die Korrelation der präoperativen Winkel mit den präoperativen pedobarographischen Messungen und des AOFAS Score:

Hier wurde der lineare Zusammenhang der präoperativen pedobarographischen Messungen der Maximalkraft unter dem Metatarsale I zu den radiologischen Winkeln überprüft. Dabei zeigte sich, daß weder der Hallux Valgus Winkel, der Intermetatarsalewinkel I/II noch der Elevationswinkel I/II in einer signifikanten Korrelation mit der Maximalkraft stehen.

Auch fanden sich keine Abhängigkeiten zwischen den Winkeln und dem AOFAS Score.

Tabelle 33: Korrelation Winkel mit Pedobarographie und AOFAS

Korrelierte Parameter	r	p
Hallux Valgus Winkel mit der Maximalkraft unter dem Metatarsale I	0,389	0,013
Intermetatarsalewinkel mit der Maximalkraft unter dem Metatarsale I	-0,012	0,094
Elevationswinkel I/II mit der Maximalkraft unter dem Metatarsale I	-0,012	0,47
AOFAS Score mit Intermetatarsalewinkel	-0,173	0,285
AOFAS Score mit Hallux Valgus Winkel	-0,239	0,137

3.4. Komplikationen

Alle Patienten wurden in der abschließenden Untersuchung gefragt, ob sie sich erneut operieren lassen würden. Die Bereitschaft dazu war bei allen 40 Patienten zu 100 Prozent gegeben. Auch gab es keinen Fall einer Transfermetatarsalgie, klinisch relevanten Thrombose oder Materialentfernung. Keiner der 40 Patienten klagte in der Nachuntersuchung über Schmerzen im Bereich der Metatarsaleköpfchen II bis V während der Belastungsphase oder beim Abrollen. Ein Patient zeigte eine oberflächliche Wundinfektion, welche unter Antibiose konservativ behandelt werden konnte. Die postoperative radiologische Verlaufskontrolle zeigte bei allen 40 Patienten keinen Fall einer knöchernen Defektheilung.

4. Diskussion

4.1 Allgemein

Zur operativen Therapie des Hallux valgus sind in der Literatur über 150 verschiedene Verfahren beschrieben [40].

Die Vielzahl der angebotenen Verfahren impliziert, dass keines der Operationsverfahren universell zur Korrektur der Deformität eingesetzt werden kann.

Vielmehr bedarf es hierbei einer sorgfältigen und individuellen Planung.

Die Wahl des Verfahrens richtet sich nach den jeweiligen Ansprüchen des Patienten und den gegebenen anatomischen Besonderheiten.

Die in der vorliegenden Studie untersuchte Operationsmethode ist die Arthrodese des ersten Tarsometatarsalgelenkes nach Lapidus [43,44,45,46,47].

Das Verfahren eignet sich zur Stabilisierung des ersten Strahls in Verbindung mit einer vorliegenden höhergradigen Hallux Valgus Deformität [52].

Jedem Patienten mit einer Hallux Valgus Deformität sollten aber auch konservative Behandlungsmöglichkeiten aufgezeigt werden [38].

Anhand einer suffizienten konservativen Therapie lassen sich einzelne Symptome, insbesondere der Schmerz, behandeln.

Zu nennen sind das Tragen von weiten Schuhen mit niedrigen Absätzen und ausreichendem Reserveraum [69] für eine Einlagenversorgung, die Versorgung mit Schienen, Ballenpolstern und Kortisoninjektionen [70].

Eine adäquate kausale Behandlung ist jedoch kaum möglich. Solange das Skelettwachstum noch nicht abgeschlossen ist, lässt sich aber zumindest die Progredienz der Deformität aufhalten [59] und einer Beschwerdelinderung erzielen [39].

Die Verfahren sind als symptomatische Behandlung einzustufen, die im Falle absoluter Operationskontraindikationen oder bei Ablehnung der Operation von Seiten des Patienten zum Einsatz kommen.

Die Indikation zur Operation wird aufgrund des konservativ nicht mehr zu beherrschenden Vorfußschmerzes gestellt [41,87].

Eine Operation aus rein kosmetischen Gründen ohne Angabe von Beschwerden stellt nach Reiter [42] lediglich eine relative Indikation dar und ist streng abzuwägen. Keiner der Patienten aus der vorliegenden Studie wurde aus kosmetischen Gründen operiert. Der subjektiv geäußerte Schmerz war das am häufigsten bewertete Symptom und Indikation für den Eingriff.

Der Schmerz stellte auch das entscheidende Kriterium zum Durchführen einer Operation für Zemsch und Trnka dar [87].

Die Therapie der Deformität gestaltet sich aufgrund der Komplexität und Dreidimensionalität schwierig und sollte immer differenziert erfolgen [39].

In dem untersuchten Kollektiv waren keine Kinder und Jugendliche.

Dies lässt auf die chronische Ausbildung der Deformität mit progredientem Voranschreiten schließen [39].

Es wurden vorrangig Patienten des weiblichen Geschlechts operiert. Das Verhältnis liegt bei 9 zu 1. Die vorliegende Geschlechterverteilung wird auch in der aktuellen Literatur bestätigt [5,6,7,74,82].

Alle 40 Patienten antworteten in der abschließenden Nachuntersuchung auf die Frage, ob sie sich erneut operieren lassen würden mit ja.

Vergleichende Arbeiten mit einer ähnlich hohen Bereitschaft liefern Mann [78] und Lee [79].

Zum Zeitpunkt der Kontrolluntersuchung bezeugten im Kollektiv von Mann 93% und in dem Kollektiv von Lee 79,3% der Patienten den Wunsch, sich rückblickend wieder aufgrund der fortgeschrittenen Hallux Valgus Deformität operieren zu lassen.

Nach allgemeiner Erfahrung wird die Operation aufgrund hoher Angst vor postoperativen Schmerzen und dem Mangel an Informationen zu den jeweiligen Methoden aufgeschoben.

4.2. Komplikationen

Obwohl in der Literatur eine Pseudarthroserate von circa 12% beschrieben ist [68, 69, 70, 84], kam es innerhalb des untersuchten Patientenkollektivs zu keinem Fall einer knöchernen Defektheilung.

In der vorliegenden Arbeit traten keine klinisch relevanten Thrombosen auf. Olms et al haben in ihrem Kollektiv unter 128 Patienten zwei Fälle einer Unterschenkelthrombose beobachten können [73].

Coetzee [69] beschreibt mit 4% auftretende Transfermetatarsalgien. Diese können aufgrund der Verkürzung des Metatarsale I auftreten. Durch eine entsprechende Plantarisierung der Metatarsale I kann jedoch in den meisten Fällen eine physiologische plantare Belastung erreicht werden. Keiner der Patienten berichtete in der abschließenden Untersuchung über Transfermetatarsalgien, obwohl postoperativ ein negativer Metatarsaleindex dominierte.

4.3. Nachbehandlung

Die in der Literatur lange Phase der postoperativen Entlastung, insbesondere bei dem Verfahren der herkömmlichen Schraubenosteosynthese, ist der Dauer der knöchernen Heilung und dem Risiko der Pseudarthrose geschuldet [72].

Orthner und Hofstätter beschreiben eine korrigierende Osteosynthese mittels winkelstabiler Platte, was eine sofortige Vollbelastung ermöglicht [73].

Bei entsprechend niedriger Pseudarthroserate sind operative Verfahren mit einer frühen Vollbelastung im Sinne der raschen *Restitutio ad integrum* von Seiten der Patienten erwünscht.

Saxena und Nguyen [71] konnten belegen, dass sich unter Verwendung einer winkelstabilen Platte die postoperative Entlastungsdauer deutlich senken lässt.

Eine Erhöhung der Komplikationsrate konnte hier nicht nachgewiesen werden.

Ähnliche Ergebnisse liefert Walter [98] mit Verwendung der plantaren Platte, die bei Belastung zu einer Kompression der Arthrodese führt und damit limitierend dem Risiko der Pseudarthrosenbildung entgegenwirkt.

4.4. Klinische Untersuchung

Die klinische Nachuntersuchung erfolgte frühestens nach 12 Monaten, im Maximum 16 Monate postoperativ.

Das Research Committee of the American Foot and Ankle Society setzt als Anforderung einen Nachuntersuchungszeitraum von mindestens 12 Monaten postoperativ [76]. Dieses Kriterium wurde erfüllt.

Die Amerikanische Gesellschaft für Fuß und Sprunggelenkchirurgie empfiehlt den AOFAS Score zur internationalen Vergleichbarkeit der Ergebnisse bei Hallux Valgus Operationen [64]. Ein sehr gutes Ergebnis findet sich bei einer Punktzahl zwischen 90 und 100. Ein gutes Ergebnis liegt bei 80 bis 89 Punkten und ein zufriedenstellendes Ergebnis bei 70 bis 79 Punkten.

In unserer Studie erreichten die Patienten einen durchschnittlich postoperativen Score von 88. Präoperativ lag der erreichte Punktewert bei durchschnittlich 59. Insofern konnte ein gutes Ergebnis erzielt werden.

19 Patienten erreichten sogar postoperativ Werte über 90.

Fuhrmann [84] konnte 2005 unter Verwendung einer winkelstabilen Platte ebenfalls eine signifikante Verbesserung des AOFAS Score von 51 auf 92 Punkte erzielen.

In der Subkategorie „Schmerz“ erreichten die Patienten 34 von 40 möglichen Punkten, in der Kategorie „Funktion“ 40 von 45 Punkten und bei der „Stellung des Hallux“ 14 von 15 Punkten.

Orthner und Hofstätter [73] erzielten bei ihrem Patientenkollektiv 2009 einen postoperativen AOFAS Score von 88,3 Punkten.

Der präoperativ gemessene Wert lag bei 46 Punkten.

In der Untergruppe „Schmerz“ steigerte sich der Wert von 14 auf 36 Punkte. Die „Funktion“ konnte ebenfalls von 30 auf 39 Punkte gesteigert werden, die „Stellung des Hallux“ verbesserte sich von 2 auf 14 Punkte.

Die Gruppe von Coetzee [69] erreichte in der Nachuntersuchung von Lapidusarthrodesen 87 Punkte.

In der Studie von Fuhrmann [84] wurden 64 Füße von 56 Patienten mittels Korrekturarthrodese am ersten Tarsometatarsalgelenk operativ versorgt. Hier lag der AOFAS Score postoperativ durchschnittlich bei 92 Punkten.

Der AOFAS Score liefert subjektive als auch objektive Aussagen zum Ergebnis einer Operation. Aufgrund der heutzutage verbreiteten Anwendung erlaubt der Score eine hohe Vergleichbarkeit mit Ergebnissen anderer Studien unter Betrachtung des Vorfußes. Obwohl er nicht sämtliche Aspekte in der Behandlung des Hallux valgus berücksichtigen kann, zählt er zur Standardbewertung bei der Behandlung von Vorfußdeformitäten.

Die Frage nach einer Instabilität des ersten tarsometatarsalen Gelenkes wird in der Regel klinisch geprüft.

In der Literatur erscheint diese Methode als Drawer Test. Klaue [97] hat für die Messung der „Instabilität“ ein Instrument entworfen, welches sich jedoch im klinischen Alltag nicht durchgesetzt hat. Die sagittale Hypermobilität ist hier mit einer Beweglichkeit im TMT-I Gelenk von mehr als 8mm angegeben.

Die durchgeführte manuelle Messung ist subjektiv. Daher sollte, wie in dieser Studie, die Untersuchung kontinuierlich von einem erfahrenen Untersucher durchgeführt werden.

4.5 Radiologische Untersuchung

Die aussagekräftigsten Winkel der radiologischen Betrachtung der Hallux valgus Deformität sind der Hallux Valgus Winkel und der Intermetatarsalewinkel [79, 80] unter Stehbelastung.

In der Literatur wird jedoch keine einheitliche Grenze zwischen dem physiologischen und dem pathologischen Winkel genannt.

Die Übergänge sind je nach Autor fließend. Dieser Umstand erklärt die Unterschiede in der Zahl der absoluten Häufigkeit.

Um eine Aussage über die Häufigkeit der Deformität treffen zu können, ist es sinnvoll, die Grenze zwischen der normalen und einer pathologischen Stellung der

Großzehe festlegen.

Nach Wülker [59] gilt beispielsweise ein Hallux Valgus Winkel über 20° als normabweichend. Pisani [67] hingegen betrachtet bereits einen Hallux Valgus Winkel zwischen 5° und 10° als pathologisch.

Andere Autoren setzen den Normalwert für den Hallux Valgus Winkel zwischen 8° und 20° [14,62,63].

Ein Hallux Valgus Winkel über 20° gilt bei den meisten Autoren als eine Indikation zur operativen Versorgung [11,36,48,53,62,88].

In dieser Arbeit wurden der Intermetatarsalewinkel und der Hallux Valgus Winkel nach der Methode von Venning und Hardy [81, 20] bestimmt.

In unserem Patientenkollektiv lag der Hallux Valgus Winkel deutlich über 20°.

Nach der korrigierenden Arthrodese des ersten Tarsometatarsalgelenkes konnte in der radiologischen Auswertung des Hallux Valgus Winkels ein mittlerer Korrekturgewinn von 19,7° dokumentiert werden.

Der präoperativ gemessene Hallux Valgus Winkel lag bei 35,5°. Der postoperativ ermittelte Wert bei 14,3°.

Der Hallux Valgus Winkel konnte durch die Operation signifikant verringert werden. Eine vergleichende Studie liefern Orthner und Hofstätter [72].

Hier wurden 83 Patienten in einer prospektiven Studie bei mittlerer oder schwerer Hallux Valgus Deformität mittels einer Lapidusarthrodese korrigiert, das Durchschnittsalter lag bei 54 Jahren. Der Hallux Valgus Winkel konnte von durchschnittlich 31° auf 12° verkleinert werden.

Dies entspricht einem Korrekturgewinn von 19°.

Ähnliche Ergebnisse liefern Olms et al [74]. Von 184 Füßen, die im Zeitraum 09/1998 und 06/2007 nach der Operationsmethode nach Lapidus versorgt worden sind, konnten 124 nachuntersucht werden. In der radiologischen Beurteilung verkleinerte sich der Hallux Valgus Winkel von präoperativ 38° auf postoperativ 18,8°.

Dies entspricht einem Korrekturgewinn von 19,2°.

Der Intermetatarsalewinkel wurde nach der Messmethode von Venning und Hardy [20] bestimmt. Diese Methode ist klassisch und wird für den Vergleich mit anderen Arbeiten [81] eingesetzt.

Die Divergenz zwischen der Schafthalbierenden des ersten und zweiten Strahls wird je nach Autor zwischen 8° und 10° als physiologisch angesehen.

Werte über 10° stellen ein Kriterium für die korrigierende Operation dar [11, 48, 88, 89].

Der präoperativ gemessene Intermetatarsalewinkel lag bei $14,2^\circ$. Postoperativ verkleinerte er sich um $9,4^\circ$ auf $4,8^\circ$. Zusammenfassend kann man sagen, dass auch eine signifikante Korrektur des Intermetatarsalewinkels erreicht werden konnte.

Orthner und Hofstätter [73] zeigten in ihrer Arbeit eine Verringerung des Intermetatarsalewinkels von 14° auf $6,3^\circ$. Diese Ergebnisse stimmen mit den Resultaten von Olms et al. [74] überein.

In ihrem Kollektiv wurde eine Verbesserung des Intermetatarsalewinkels von $17,2^\circ$ auf $8,9^\circ$ angegeben.

Nass, Simons und Wenisch [76] veröffentlichten ihre radiologischen Ergebnisse bei einem Kollektiv von 15 Patienten, die mittels planterer Platte im Rahmen der Lapidusarthrodese versorgt worden sind. Hier verringerte sich der Intermetatarsalewinkel im Durchschnitt von präoperativ 15° auf postoperativ 7° .

Coetzee [69] erreichte durch die Lapidusarthrodese eine Verkleinerung des Intermetatarsalewinkels von präoperativ 18° auf postoperativ $8,2^\circ$.

In der Studie von Fuhrmann [84] konnte der Intermetatarsalewinkel von präoperativ $20,4^\circ$ auf $11,2^\circ$ reduziert werden.

Die gute Korrektur des Intermetatarsalewinkels findet sich in den Angaben der genannten Autoren wieder.

In der Literatur finden sich nur wenige Angaben zur tibialen Sesambeinposition. 2003 untersuchte Perugia 33 Patienten nach Korrekturoperationen bei Vorhandensein einer Hallux valgus Deformität über einen Nachuntersuchungszeitraum von 26

Monaten [75].

Er veröffentlichte in den Ergebnissen eine durchschnittliche Verbesserung der tibialen Sesambeinposition von 2,3 Positionen.

Seine Ergebnisse zeigen Übereinstimmung mit den in dieser Studie ermittelten Werten. Im Mittelwert änderte sich hier die TSP um 2,7 Positionen in Richtung der gewünschten Korrektur. Der Elevationswinkel konnte signifikant verkleinert werden. Biomechanisch betrachtet ist hierbei die Kraftübertragung des M. abductor hallucis auf das Großzehengrundgelenk bei vermehrter fibularer Positionierung der Sesambeine nachteilig.

Der M. adductor hallucis wird in seiner Funktion dominierend und dadurch wird die Dysbalance mit einem Fortschreiten der Hallux Valgus Deformität begünstigt. Insofern sollte der Position der Sesambeine zur Beurteilung von Hallux Valgus Operationen mehr Relevanz beigemessen werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung untermauern die Daten der genannten Autoren.

4.6. Pedobarographische Untersuchung

Die dynamische Pedobarographie hat sich in den letzten Jahren als diagnostische Methode etabliert. Durch die technische Weiterentwicklung hat sie stark an Bedeutung dazu gewonnen [105].

Der Vorteil liegt in der einfachen und praktischen Handhabung des Verfahrens [100]. Die Pedobarographie wurde in mehreren Studien als reproduzierbare Messmethode eingestuft [111, 112].

Gerade bei orthopädischen und unfallchirurgischen Fragestellungen ist sie ein geeignetes Verfahren, um den Therapieerfolg von Operationen an der unteren Extremität zu quantifizieren und auszuwerten [65, 66, 67].

Trotz verschiedener Untersuchungen des „Normalfußes“ ist eine Grenze zwischen einem gesunden und einem pathologischen Fuß anhand des Belastungsmusters nur

schwer zu ziehen [110].

Die besondere Bedeutung des ersten Strahles für den Abrollvorgang konnte bereits in mehreren pedobarographischen Studien belegt werden [90, 91, 92, 93].

Unsere Ergebnisse zeigen die operativ modulierten Verhältnisse der Maximalkraft und des Kraft-Zeit-Integrals unter Verwendung einer speziellen Operationsmethode [90].

Die präoperativen Messungen dieser Studie liefern den Hinweis darauf, dass die höhergradige Hallux valgus Deformität zu einer Umverteilung der Maximalkraft auf den lateralen Vorfuß führt.

So konnte beispielsweise unter dem dritten Metatarsale präoperativ die in Relation höchste Maximalkraft von $182 \text{ Newton} \pm 42 \text{ (SD)}$ gemessen werden. Auch scheint das Vorliegen eines verlängerten ersten Metatarsale prädisponierend für die Hallux valgus Deformität zu sein [113]. Die Steigerung der Maximalkraft am lateralen Vorfußbereich ist vermutlich auf den Funktionsverlust der Großzehe beim Abrollvorgang zurückzuführen.

Ähnliche Ergebnisse konnte Waldecker [94] liefern.

Sie konnte belegen, dass Patienten mit einer Hallux Valgus Deformität am lateralen Vorfuß eine signifikant höhere Lastaufnahme mit begleitender Metatarsalgie aufweisen.

Auch Toth et al. [94] fanden Hinweise auf eine vermehrte Druckerhöhung am lateralen Vorfuß bei Vorliegen eines Hallux valgus.

Ähnliche Ergebnisse lieferte in der vorliegenden Arbeit das Kollektiv mit den 33 Probanden. In dieser Gruppe wurde lediglich der erste Strahl mittels Lapidusarthrodese adressiert. Unter dem ersten Metatarsaleköpfchen konnte eine signifikante Erhöhung der Maximalkraft durch die Korrekturarthrodese erzielt werden. Die Gruppe der 7 Probanden mit gleichzeitiger Korrektur der zweiten oder dritten Zehe zeigte eine identische Umverteilung der Maximalkraft. Entsprechend

der geringen Gruppenstärke dieses Subkollektivs zeigten sich hierbei jedoch keine signifikanten Ergebnisse.

Der prozentual höchste Zuwachs war sowohl bei der Betrachtung des Gesamtkollektives als auch der Gruppe mit alleiniger Lapidusarthrodese unter dem zweiten Metatarsale zu beobachten. Identische Ergebnisse zeigen die Veränderungen der Maximalkraft unter dem ersten Strahl.

Es resultierte eine Lastverteilung am Vorfuß zugunsten der medialen Anteile.

Dies deckt sich auch mit den pedobarographischen Merkmalen bei Patienten ohne Hallux valgus Deformität [114].

Mulcahy [106] konnte in einer Vergleichsstudie ebenfalls einen Anstieg der Maximalkraft unter dem ersten Strahl bei unterschiedlichen Methoden der Vorfußkorrektur belegen.

Die Literatur zeigt, dass bei „fußgesunden“ Patienten die höchsten Drücke und Werte der Maximalkraft unter der Großzehe zu messen sind. Dies bestätigt die wichtige Funktion des Hallux für den physiologischen Abrollvorgang [91,92,93].

Auch in unserer Studie konnte postoperativ ein erhöhter Wert der Maximalkraft unter der Großzehe gemessen werden.

Aus klinischer Sicht erklärt sich die Änderung der postoperativ wieder möglichen Einbeziehung der Großzehe durch die erfolgte dreidimensionale Korrektur.

Bei 19 Patienten dieser Studie wurde eine zusätzliche Osteotomie der Grundphalanx nach Akin durchgeführt. In dieser Gruppe konnte eine signifikante Steigerung der Maximalkraft der Großzehe belegt werden.

Die vermehrte Beschwerde unter dem zentralen Vorfuß ist Ausdruck einer vermehrten Belastung [90,107].

Postoperativ kam es zu einer Verlagerung der Maximalkraft am Vorfuß. Der AOFAS Score zeigte begleitend einen Rückgang der plantaren Beschwerde.

Eine hohe Maximalkraft am zentralen oder lateralen Vorfuß kann sicherlich das

Auftreten von Transfermetatarsalgien begünstigen. Im Rahmen der Nachuntersuchung konnte das aber nicht festgestellt werden.

Coetzee [69] hat in einer Studie bei 91 Patienten nach Lapidusarthrodese bei 4 Patienten über das Auftreten von Transfermetatarsalgien berichten können. In den 4 Fällen lag ein postoperativ gestörtes Vorfußalignement vor. Bei entsprechender Plantarisierung des ersten Strahles stellt die Lapidusarthrodese für Coetzee [69] eine gute Möglichkeit zur Korrektur der höhergradigen Hallux valgus Deformität dar.

Die vorliegenden Ergebnisse der klinischen Untersuchung konnten auch durch die plantare Messung der Lastverteilung (FTI) bestätigt werden. Das Kraft-Zeit-Integral repräsentiert die Fläche unter der Kraft-Zeit-Kurve. Postoperativ konnte ein Rückgang des Impulses der lateralen Vorfußmaske im Abrollvorgang gemessen werden. Die Betrachtung der Vorfußmaske weist postoperativ auf einen vermehrten Einsatz des medialen Vorfußes hin. Nach Soames [108] ist nicht nur das Kraftmaximum, sondern auch der Impuls entscheidend für die Beurteilung des Abrollverhaltens.

Die Reproduzierbarkeit des Kraft-Zeit-Integrales ist unabhängig von der jeweiligen Anlaufgeschwindigkeit [109]. In der vorliegenden Studie war es den Probanden erlaubt, in einer selbst gewählten Geschwindigkeit über die Messplattform zu laufen.

In unserer Studie konnte die signifikante Korrektur der radiologischen Hallux Valgus Kennwinkel bei gleichzeitig signifikantem Anstieg der Maximalkraft unter dem ersten Metatarsale belegt werden.

Ein interessanter Aspekt hierbei ist jedoch, dass die Ergebnisse keinen linearen Zusammenhang zwischen der radiologischen Winkelkorrektur und der Maximalkraft unter dem ersten Metatarsale zeigen. So besteht zum einen keine Korrelation innerhalb der radiologischen Kenngrößen, auch nicht im Zusammenhang zwischen dem radiologischen Ausmaß der Deformität und des AOFAS Score. Zu einem ähnlichen Ergebnis kam Waldecker [28], sie machte

ebenfalls deutlich, dass die radiologische Zeichen nicht mit den ermittelten Werten der Fußdruckmessung korrelieren.

Zusammenfassend stellt die Lapidusarthrodese eine geeignete Methode zur radiologisch und pedobarographisch belegbaren Korrektur der höhergradigen Hallux valgus Deformität dar.

5. Zusammenfassung

Die Lapidusarthrodese wird in der Fußchirurgie zur Korrektur der höhergradigen Hallux Valgus Deformität in Verbindung mit einem symptomatischen ersten Tarsometatarsalegelenk eingesetzt.

In dieser prospektiven Studie erfolgte eine klinische, radiologische und pedobarographische Untersuchung von 40 Patienten nach Lapidusarthrodese.

In 33 Fällen wurde isoliert eine Lapidusarthrodese durchgeführt, in 7 Fällen erfolgten zusätzlich Osteotomien im Bereich des zweiten oder dritten Metatarsale.

Die Follow-up Untersuchung erfolgte im postoperativen Intervall von 14 ± 2 Monaten.

In der klinischen Untersuchung wurden die Kriterien des AOFAS Scores erfasst. Es kam zu einer wesentlichen Besserung von 58 Punkten auf 88 Punkte.

Die radiologischen Kriterien der Studie waren unter anderem der Intermetatarsalwinkel, der Hallux Valgus Winkel und die tibiale Sesambeinposition.

Der Intermetatarsalewinkel konnte postoperativ im Mittel um 9° und der Hallux valgus Winkel um 11° korrigiert werden.

Die tibiale Sesambeinposition änderte sich durch den Eingriff um 2,7 Positionen in Richtung der gewünschten Stellung.

Ein wesentlicher Bestandteil der Arbeit war die pedobarographische Untersuchung der Maximalkraft und des Kraft-Zeit-Integrals am Vorfuß.

Es konnte gezeigt werden, daß durch die Operationsmethode eine Lastumverteilung am Vorfuß zugunsten der medialen Anteile stattfindet.

Interessanterweise konnte kein linearer Zusammenhang zwischen der radiologischen Winkelkorrektur, der Pedobarographie und des AOFAS Score beobachtet werden.

6. Literaturverzeichnis

1. **Hueter**, K., Klinik der Gelenkkrankheiten. Leipzig. 1871.
2. **Gudas**, C.J., Marcinko D.E.: Hallux valgus- eine komplexe Deformität
In: Hallux valgus Morphologie, Klinik, Operative Therapie
David E. Marcinko, Ullstein Mosby, Berlin, 1994: p. 11-27.
3. **Mann**, RA., Coughlin MJ, Hallux valgus – Etiology, anatomy, Treatment and surgical Considerations, *Clin Orthop* 1981. 157: p. 31-41.
4. **Schreiber**, A., Zollinger, H, Naghachan, F, Die Hallux valgus Operation nach Brandes. *Orthop praxis* 1976. 12: p. 369-71.
5. **Payr**, E., Pathologie und Therapie des Hallux valgus. Braunmüller, Wien und Leipzig, 1984.
6. **Steinböck**, G., Pathogenese des Hallux valgus. In: Wirth CJ, Ferdini R, Wülker N (Hrsg.) Vorfußdeformitäten. Springer, Heidelberg Berlin New York. 1993.
7. **Craigmire**, DA., Incidence, origin and prevention of certain foot defects. *Br Med J* 1953. 2: p. 749 – 52.
8. **Engle**, ET., Morton, DJ, Notes on foot disorders among natives of the Belgian congo. *J Bone Surg* 1931. 13: p. 311-18.
9. **Earll**, M., MD., Wayne, J., PhD, Caldwell P., Adelaar R., MD: Comparison of two proximal osteotomies for the treatment of Hallux valgus. *Foot and Ankle Int.* 1998. 19 (7): p. 425-9.
10. **Haines**, RW., McDougall A, The anatomy of hallux valgus. *J Bone Joint Surg* 1954. 36 B: p. 262-93.
11. **Hardy**, RH, Clapham JCR, Observations on hallux valgus. *J Bone Joint Surg* 1951. 33 B: p. 376-91.
12. **Harris**, RI., Beath, T., The short first metatarsal: first incidence and clinical significance. *J Bone Joint Surg* 1949. 31 A: p. 553.
13. **Hohmann**, G., Der Hallux valgus und die übrigen Zehenverkrümmungen. *Ergeh Chir Orthop* 1925. 18: p. 308-48.
14. **Kilmartin**, TE., Pod, F., Wallace, A., The significance of pes planus in juvenile hallux valgus. *Foot Ankle* 1992. 13: p. 53-6.
15. **Zygmunt**, KH., DPM, Gudas, CJ., DPM, Laros, GS., MD., Z-Bunionectomy with internal screw fixation. *J.A.P.M.A.* 1989. 79: p. 322-39.
16. **Debrunner**, HU., Ätiologie und Pathogenese des Hallux valgus. Blauth W (Hrsg.) *Hallux valgus*. Springer, Berlin Heidelberg New York, 1986. p. 37-44.

17. **Hippe**, P., Sönnichsen, S., Der angeborene Hallux valgus. Blauth W (Hrsg.) Hallux valgus. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo. 1986.
18. **Castellana**, A., Pathogenese und kausale Behandlung des Hallux valgus. *Z Orthop ihre Grenzgeb.* 1987. 125: p. 77-81.
19. **Wirth**, CJ., Ferdini, R., Wülker, N. (Hrsg.), Vorfußdeformitäten. Springer, Berlin, Heidelberg, New York. 1993.
20. **Hardy**, RH., Clapham, JCR., (1951), Observations on hallux valgus. *J Bone Joint Surg* 1951. 33- B: p. 376 – 91.
21. **Sandelin**, T., Operative Treatment of hallux valgus. *JAMA*, 1923. 80: p. 736.
22. **Johnston**, O. (1956), Further studies of the inheritance of hand and foot anomalies. *Clin Orthop*, 1956. 8: p. 146.
23. **Sim-Fook**, L., Hodgson, AR., A comparison of foot forms among the non-shoe and shoe-wearing Chinese population. *J Bone Joint Surg*, 1958. 40-A: p. 1058-62.
24. **Gottschalk**, FAB., Sallis, JG., Beighton, PH., Solomon, L., A comparison of the prevalence of hallux valgus in three South African populations. *S Afr Med J*, 1980. 57: p. 355-7.
25. **Kato**, T., Watanabe, S., The aetiology of hallux valgus in Japan. *Clin Orthop*, 1981. p. 157-78.
26. **Hiss**, MJ., Hallux valgus: It's cause and simplified treatment. *Am J Surg*, 1931; 11: p. 51-7.
27. **Root**, ML., et al., Forefoot deformity caused by abnormal subtalar joint pronation. Normal and abnormal Function of the foot, Vol. 2, clinical Biomechanics. Los Angeles, Clinical Biomechanics Corp, 1977. P. 349 – 462.
28. **Waldecker**, U, Pedographic analysis of the hallux valgus deformity. *Foot and Ankle Surgery*, 2004. 10: p. 121-124.
29. **Mc Elvenny**, RT., Hallux varus. *Quart Bull Northwestern Med School*, 1941. 15: p. 277-80.
30. **Barnicot**, NA., Hardy, RH., The position of the hallux in West Africans. *J Anat*, 1955. 89: p. 355-61.
31. **Goldner**, JC., Hallux valgus and hallux flexus associated with cerebral palsy; Analysis and treatment. *Clin Orthop*, 1981. p. 157-35.
32. **Steinböck**, G., Pathogenese des Hallux valgus. In: Wirth CJ, Ferdini R, Wülker N (Hrsg.) Vorfußdeformitäten. Springer, Heidelberg Berlin New York, 1933.
33. **Leonhardt**, K., Ergebnisse von Hallux-valgus-Operationen nach Keller-Brandes. *Beitr Orthop traumatol*, 1990. 37: p. 510-17.

34. **Love**, TR., Whynot, AS., Farine, I., Lavoie, M., Hunt, L., Keller Arthroplasty: A Prospective Review. *Foot Ankle*, 1987. 8: p. 46-53.
35. **Burckhardt**, A., Abbühl, U., Die Behandlung des Hallux valgus mit der Operation nach Keller/Brandes – Indikation, Operationsmethode und Ergebnisse. *Ther Umsch*, 1991. 48: p. 824-31.
36. **Eulert**, J., Mau, H., (1986) Der Hallux valgus: klinisches und röntgenologisches Bild. Blauth W (Hrsg.) *Hallux valgus*. Springer, Berlin Heidelberg New York,, 1986. p. 45-52.
37. **Blatter**, G., Magerl, F., Osteotomien des ersten Strahls zur Behandlung des Hallux valgus. *Ther Umsch*, 1991. 48: p. 803-11.
38. **Mayo**, CH., The surgical treatment of bunions. *Minn Med*, 1908. J 3: p. 326-31.
39. **Wüller**, N., Wirth, CJ., Differenzierte Therapie des Hallux valgus. *Deutsches Ärzteblatt*, 1996. 93: p. 881-5.
40. **Viladot**, R., Rochera, R., Alvarez, F., Pasarin, A., Die Resektionsarthroplastik zur Behandlung des Hallux valgus. *Orthopäde*, 1996. 25: p. 324-31
41. **Scholder**, P., Gegenüberstellung der üblichsten chirurgischen Behandlungsverfahren beim Hallux valgus-Syndrom. *Orthopäde*, 1982. 11: p. 154-61.
42. **Reiter**, R., Spätresultate nach 1464 Hallux-valgus-Operationen (vorwiegend nach der Methode nach Brandes). *Z Orthop*, 1961. 94: p. 178-96.
43. **Albrecht**, GA., Zur Pathologie und Therapie des Hallux valgus. *Russki Wratsch*, 1911. 10: p. 14-9.
44. **Lapidus**, PW., Operative corrections of metatarsus varus primus in hallux valgus. *Surg Gynecol Obstet*, 1934. 58: p. 183-91.
45. **Lapidus**, PW., The author's bunion operation from 1931 to 1959. *Clin. Orthop*, 1960. 16: p. 119-35.
46. **Kleinberg**, S., The operative cure of hallux valgus and bunions, *Am. J. Surg*, 1932. 15: p. 75-81.
47. **Tuslow**, W., Metatarsus primus varus or hallux valgus?, *J. Bone Jt Surg. Am*, 1925. 7: p. 98.
48. **Durman**, DC. (1957), Metatarsus primus varus and hallux valgus. *Arch Surg*, 1957. 74: p. 128-35.
49. **Olms**, K., Braemer, A., Randt, T., Radigk, S., Schulz, A.P., Die Lapidusarthrodese zur Korrektur des Hallux valgus, *Fuß und Sprunggelenk*, 2009. 7: p. 164-72.
50. **Wüller**, N., Stephens, M., Cracchiolo, A., III., *Operationsatlas Fuß und Sprunggelenk*, 2. Auflage Thiemeverlag, 2007. p. 32.
51. **Morton**, DJ., The human foot; It's evolution, Physiology, and functional disorders. Mornigside Heights, Columbia university press, 1935.

52. **Rutherford**, RL., The Lapidus procedure for primus metatarsus adductus. *J Am Podiatric Asoc.* 1974. 64: p. 581-4.
53. **Piggot**, H., The natural history of hallux valgus in adolescent and early life. *J. Bone joint Surg (Br)* 1960. 42: p. 749-60.
54. **La Porta**, G., Mellilo, T., Odinsky, D., X-ray evaluation of hallux abducto valgus deformity. *J Am Podiarty Assoc* 1974, 64: p. 544.
55. **Karasick**, D., Wapner, KL., Hallux Valgus Deformity: Preoperative Radiologic Assessment. *AJR*, 1990. 155: p. 119-23.
56. **Nilsonne**, H., Hallux Rigidus And Ist Treatment. *Acta Orthop Scand*, 1930. p. 295-303.
57. **Zygmunt**, KH., Z-bunionectomy with internal screw fixation. *J Am Podiatr Med Assoc*, 1989. Jul;79(7): p. 322-9.
58. **Mann**, RA., Amputation of the great toe. *Foot Ankle*, 1981. 6: p. 333-7.
59. **Wüller**, N., Hallux valgus – Hallux rigidus, Enke Verlag, Stuttgart, 1997.
60. **Küsswetter**, W., Zacher, J., Hallux valgus. Jäger M., Wirth CJ.: *Praxis der Orthopädie*, 2. Auflage Thieme, Stuttgart, New York, 1992. p. 1016-8.
61. Medicine-Worldwide: Hallux valgus
http://www.m-ww.de/krankheiten/orthop_erkrankungen/hallux.html , 2002.
62. **Boebel**, A., Wolff, K., Über die Beziehung zwischen Großzehlenlänge und Hallux valgus. *Z. Orthop.* 1960. 93: p. 254 -9.
63. **Donick**, II., et al., An approach for hallux valgus surgery – Fifteen year review: Part I. *J Foot Surg*, 1980. 19: p. 113-26.
64. **Kitaoka**, HB., Alexander, IJ., Adelaar, RS., Nunley, JA., Myerson, MS., Sanders, M., Clinical Rating Systems for the Ankle-Hindfoot, Midfoot, Hallux and Lesser Toes. *Foot Ankle*, 1994. 15: p. 349-52.
65. **Fritsch**, C., Haslbeck, M., Significance of pedography in the diagnosis and treatment of the diabetic foot syndrome. *MMW Fortschr Med*, 2004. 146(26): p. 51-4.
66. **Mittlmeier**, T. and Rosenbaum, D., [Clinical gait analysis]. *Unfallchirurg*, 2005. 108(8): p. 614-29.
67. **Schepers**, T., et al., Plantar pressure analysis after percutaneous repair of displaced intraarticular calcaneal fractures. *Foot Ankle Int*, 2008. 29(2): p. 128-35.
68. **Cantanzariti**, A.R., Mendicino, R.W., et al, The modified Lapidus arthrodesis: a retrospective analysis, *J. Foot Ankle Surg*, 1999. 38 (5): p. 322-32.
69. **Coetze**, J.C. , Wickum, D., The Lapidus procedure: a prospective cohort outcome study, *Foot Ankle Int*, 2004. 25 (8): p. 526-31.

70. **Patel**, S., Ford, L.A., et al., Modified lapidus arthrodesis: rate of nonunion in 227 cases, *J. Foot Ankle Surg*, 2004. 43 (1): p. 37-42.
71. **Saxena**, A., Nguyen, A., Nelsen, E., Lapidus bunionectomy, early evaluation of crossed screws versus locking plate with plantar lag screw, *J. Foot Ankle Surg*, 2009. 48 (2): (p. 170-9.
72. **Klaue**, K., Ungersböck, A., Tarsometatarsalarthrodese bei Hypermobilität und Hallux valgus, *Operat. Orthop. Traumatol.* 1996. 8: p. 222-31.
73. **Orthner**, E., Hofstätter, S.G., Lapidusarthrodese mit unidirektionaler winkelstabiler Platte und sofortiger Vollbelastung – eine prospektive Studie. *Fuß & Sprunggelenk*, 2009. 7: p. 178-85.
74. **Olms** K., et al., Die Lapidusarthrodese zur Korrektur des Hallux valgus. *Fuß & Sprunggelenk*, 2009. 7: p. 164-72.
75. **Perugia**, D., Basile, A., Gensini, A., Stopponi, M., Minniti De Simeonibus, AU., The scarf osteotomy für severe Hallux valgus. *Int Orthp (Sicot)* 2003. 27: p. 103-6.
76. **Nass**, K., Simons, P., Wenisch, A., Die Lapidusarthrodese – Fixation mit plantarer Platte und primäre Vollbelastung; *Fuß & Sprunggelenk*, 2009. 7: p. 173-7.
77. **Smith**, R.W., Reynolds, J.C., Stewart, M.J., Hallux valgus assesment: report of research committe of American Orthopaedic Foot and Ankle Society. *Foot Ankle*. 1984. 5: p. 92-103.
78. **Mann**, R.A., Rudicel, S., Graves, S.C., Repair of hallux valgus with a distal soft-tissue procedure and proximal metatarsal osteotomy. A long-term follow up. *J Bone Joint Surg* 1992.
79. **Lee**, W.C., Kim, Y.M., Correction of hallux valgus using lateral soft-tissue release and proximal Chevron osteotomy through a mediacl incision. *J Bone Joint Surg Am*. 2007. 89 Suppl 3: p. 82-9.
80. **Pehlivan**, O., Akmaz, I., Solakoglu, C., Kiral, A., Kaplan, H., Proximal oblique crescentic osteotomy in hallux valgus. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2004. 94: p. 43-6.
81. **Venning**, P. and R.H. Hardy , Sources of error in the prouction and measurment of Standard radiographs of the foot. *Br J Radiol*. 1951. 24: p. 18-26.
82. **Glynn**, M.K., Dunlop, J.B., Fitzpatrick, D., The Mitchell distal metatarsal osteotomy for hallux valgus. *J. Bone Joint Surg Br*. 1980. 62-B: p. 188-91.
83. **Condon**, F., Kaliszer, M., Conhyea, D., O'Donnell, T., Shaju, A., The first intemetatarsal angle in hallux valgus:an analysis of measurement reliability and the error involved. *Foot Ankle Int* 2002. 23: p.717-21.
84. **Fuhrmann**, RA., Die Korrekturarthrodese des ersten Tarsometatarsalgelenkes zur Behandlung des fortgeschrittenen Spreizfußes mit Hallux-valgus-Fehlstellung. *Operat Orthop Traumatol* 2005. 17: p. 195-210.

85. **Johnston**, O., Further studies of the inheritance of hand and foot anomalies. *Clin Orthop.* 1956. 8:p. 146.
86. **Klar**, MM., Ueber angeborenen Hallux valgus. *Z Orthop. Chir.* 1905. 14:p. 304-11.
87. **Zemsch**, A., Trnka, HJ., Die Operation nach Keller Brandes: Langzeitergebnisse bei jungen Patienten mit Hallux valgus. *Z Orthop.* 1999. 137: p. 181-8.
88. **Kilmartin**, TE., Barring, RL., Wallace, A., Metatarsus primus varus, a statistical study. *J. Bone Surg.* 1991. 73-B: p. 937-40.
89. **Zhuber**, K., Salzer, M., Behandlung des Hallux valgus bei Metatarsus primus varus. *Z. Orthop.* 1977. 115: p. 916-22.
90. **Milani**, TL., Retzlaff, S., Druckverteilung zur Beurteilung des Abrollverhaltens bei operierten Hallux valgus Patienten. *Z. Orthop.* 1995. 133: p. 341-6.
91. **Hutton**, WC., Dhanendran, M., A study of the distribution of load under the normal foot during walking. *Int. Orthopaedics*, 1979. 3: p. 153-7.
92. **Betts**, RP., et al., Analysis of pressure and loads under the foot. Part II:quantitation of the dynamic distribution. *Journal of Clinical Physics and Physiological Measurement*, 1980. 1: p. 113-24.
93. **Hennig**, EM., Milani, TL., Die Dreipunktuntersützung des Fußes – Eine Druckverteilungsanalyse bei statischer und dynamischer Belastung. *Z. Orthop.* 1993. 131: p. 279-84.
94. **Waldecker**, U., Metatarsalgia in hallux valgus deformity: a pedographic analysis. *J Foot Ankle Surg*, 2002. 41(5): p. 300-8.
95. **Toth**, K., et al., Foot pressure distribution in rheumatoid arthritis. *Clin Biomech* (Bristol, Avon), 1999. 14: p.:552-66.
96. **Kernozeck**, T., Roehrs, T., and McGarvey, S., Analysis of plantar loading parameters pre and post surgical intervention for hallux vargus. *Clin Biomech* (Bristol, Avon), 1997. 12(3): p. S18-S19.
97. **Klaue**, K., Hansen, ST., Masquelet, AC., Clinical, quantitative assessment of first tarsometatarsal mobility in the sagittal plane and its relation to hallux valgus deformity. *Foot Ankle Int.* 1994. 15:p.9-13.
98. **Walther**, M., Simons, P., Nass, K., Röser, A., Die Arthrodese des Tarsometatarsal-I-Gelenks mit einer plantaren Zuggurtungsosteosynthese. *Orthop Traumatol.* 2011. 23: p. 52-60.
99. **Rosenbaum**, D., Pedobarographie in der orthopädischen Praxis. *Praktische Orthopädie*, 39. Tagung des Berufsverbandes der Ärzte für Orthopädie e.V. 1999. 18:p.23-29.
100. **Schmiegel**, A., Rosenbaum, D., Schorat, A., Hilker, A., Gaubitz, M., Assessment of foot impairment in rheumatoid arthritis patients by dynamic pedobarographie. *Gait Posture.* 2008. 27:p.110-114.

101. **Quaney**, B., Meyer, K., Cornwall, M.W., McPoil, T.G., A comparison of the dynamic pedobarographie and EMED systems for measuring dynamic foot pressures. *Foot Ankle Int* 1995. 16:p.562-566.
102. **Best**, W., Druckverteilungsmessung im Überblick. *Orthopädieschuhtechnik* 2003: p.33-34, p. 38-39.
103. **Milani**, T.L., Retzlaff, S., Analysis of the pressure distribution for the evaluation of gait in patients with hallux valgus surgery. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 1995. 133(4):p.341-6.
104. **Hughes**, J., The clinical use of Pedobarography. *Acta Orthop Belg* 1993: 59 p:10-16.
105. **Duckworth**, T., Pedobarography, in *The Foot*, B. Helal, Editor. 1988, Churchill Livingston: Edinburgh.p.108-130.
106. **Mulcahy**, D., Daniels, T.R., Lau, J.T., Boyle, E., Bogoch, E. (2003): Rheumatoid forefoot deformity: a comparison study of 2 functional methods of reconstruction. *J Rheumatol* 30, 1440-1450.
107. **Schaff**, P., Hauser, W. (1987) Dynamische Druckverteilungsmessung mit flexiblen Meßmatten - ein innovatives Meßverfahren in der Sportorthopädie und Traumatologie *Sportverletzung - Sportschaden* 4:185-222
108. **Soamnes**, R.W., Clark, C.: Heel height induced changes in metatarsal loading patterns during gait. In: *Biomechanics IX-A*, Human Kinetics Press, Champaign 1985.
109. **Maiwald**, C., et al., Reproducibility of plantar pressure distribution data in barefoot running. *J Appl Biomech*, 2008. 24(1): p. 14- 23.
110. **Imamura**, M., et al., *Pedobarometric evaluation of the normal adult male foot*. *Foot Ankle Int*, 2002. 23(9): p. 804-10.
111. **Riad**, J., et al., *Reliability of pedobarographs for paediatric foot deformity*. *J Child Orthop*, 2007. 1(5): p. 307-312.
112. **Hopson**, M.M., T.G. McPoil and M.W. Cornwall, *Motion of the first metatarsophalangeal joint. Reliability and validity of four measurement techniques*. *J Am Podiatr Med Assoc*, 1995. 85(4): p. 198-204.
113. **Orzechowski**, W. and A. Wall, [Selected anatomical features of the foot with hallux valgus]. *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol*, 1999. 64(3): p. 311-7.
114. **Fritsch**, C. and M. Haslbeck, *[Significance of pedography in the diagnosis and treatment of the diabetic foot syndrome]*. *MMW Fortschr Med*, 2004. 146(26): p. 51- 4.
115. **Mann** RA, Coughlin MJ. *Adult Hallux valgus*. In: Mann RA, Coughlin MJ (Eds): *Surgery of the foot and ankle*. Mosby, St. Louis-Baltimore-Boston, 1992. p. 167-296.

7. Thesen

1. Die Lapidusarthrodese ist ein geeignetes Verfahren zur Therapie der höhergradigen Hallux Valgus Deformität.
2. Die Hallux valgus Deformität tritt überwiegend beim weiblichen Geschlecht auf.
3. Die Lapidusarthrodese führt zu einer wesentlichen Besserung im AOFAS Score.
4. Die Lapidusarthrodese ist ein geeignetes Mittel zur radiologisch belegbaren Winkelkorrektur der Hallux Valgus Deformität.
5. Es besteht keine Korrelation zwischen den radiologischen Kenngrößen.
6. Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Maximalkraft und den radiologischen Kenngrößen der Hallux Valgus Deformität.
7. Durch die Lapidusarthrodese kommt es zu einer Lastumverteilung unter dem Vorfuß, zugunsten der medialen Anteile.
8. Durch eine begleitende Osteotomie der Grundphalanx nach Akin kommt es postoperativ zu einer Steigerung der Maximalkraft unter der Großzehe.

8. Anhang

8.1. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Patientenalter und Patientenverteilung zum Zeitpunkt der Operation	7
Tabelle 2:	AOFAS Score nach Kiatoka et al. 1994 [64].....	12
Tabelle 3:	Gesamtbewertung des AOFAS Score.....	13
Tabelle 4:	Beurteilung der Gelenkbeweglichkeit Metatarsophalangeal.....	13
Tabelle 5:	Tibiale Sesambeinposition.....	16
Tabelle 6:	Metatarsaleindex.....	17
Tabelle 7:	Gesamtscore Mittelwerte AOFAS Score.....	23
Tabelle 8:	Schmerzen AOFAS Score.....	24
Tabelle 9:	Belastungseinschränkungen AOFAS Score.....	25
Tabelle 10:	Schuhe AOFAS Score.....	26
Tabelle 11:	Beweglichkeit MTP I AOFAS Score.....	26
Tabelle 12:	Beweglichkeit IP AOFAS Score.....	27
Tabelle 13:	MTP/ IP Stabilität AOFAS Score.....	27
Tabelle 14:	Beschwielung AOFAS Score.....	27
Tabelle 15:	Stellung der Großzehe AOFAS Score.....	27
Tabelle 16:	Hallux valgus Winkel.....	28
Tabelle 17:	Intermetatarsalewinkel (IMW).....	29
Tabelle 18:	Metatarsaleindex.....	30
Tabelle 19:	Tibiale Sesambeinposition.....	31
Tabelle 20:	Tibiale Sesambeinposition.....	31
Tabelle 21:	Elevationswinkel I/II.....	32
Tabelle 22:	Kongruenz am MTP-I-Gelenk.....	33
Tabelle 23:	Mittelwertvergleich der Maximalkraft MFK 1 bis MFK 5 prä/post (n=33).....	37
Tabelle 24:	Mittelwertvergleich der Maximalkraft MFK 1 bis MFK 5 prä/post (n=7).....	40

Tabelle 25:	Mittelwertvergleich der Maximalkraft MFK 1 bis MFK 5 prä/post (n=40).....	43
Tabelle 26:	Mittelwertvergleich der Maximalkraft der Großzehe prä/post (n=40).....	44
Tabelle 27:	Mittelwertvergleich des Kraft-Zeit-Integrals MFK 1 bis MFK 5 prä/post (n=33).....	48
Tabelle 28:	Mittelwertvergleich des Kraft-Zeit-Integrals MFK 1 bis MFK 5 prä/post (n=7).....	51
Tabelle 29:	Mittelwertvergleich des Kraft-Zeit-Integrals MFK 1 bis MFK 5 prä/post (n=40).....	54
Tabelle 30:	Mittelwertvergleich des Kraft-Zeit-Integrals der Großzehe prä/post (n=40).....	55
Tabelle 31:	Mittelwertvergleich der Maximalkraft der Großzehe und des ersten Mittelfußköpfchens bei Patienten mit Akin-Osteotomie prä/post (n=19).....	58
Tabelle 32:	Mittelwertvergleich der Maximalkraft der Großzehe und des ersten Mittelfußköpfchens bei Patienten ohne Akin-Osteotomie prä/post (n=21).....	58
Tabelle 33:	Korrelation Winkel mit Pedobarographie und AOFAS.....	59

8.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Hallux valgus Deformität.....	3
Abbildung 2:	Intermetatarsalewinkel I/II.....	14
Abbildung 3:	Hallux Valgus Winkel.....	15
Abbildung 4:	Tibiale Sesambeinposition.....	15
Abbildung 5:	Kongruenz MTP.....	16
Abbildung 6:	Metatarsaleindex.....	17
Abbildung 7:	Elevationswinkel I/II.....	18

Abbildung 8:	Korrektur Hallux valgus Winkel am Beispiel.....	28
Abbildung 9:	Korrektur Intermetatarsalewinkel am Beispiel.....	29
Abbildung 10:	Korrektur der Sesambeinposition am Beispiel.....	31
Abbildung 11:	Korrektur des Elevationswinkels I/II am Beispiel.....	32
Abbildung 12:	Kongruenz MTP-I-Gelenk am Beispiel.....	33
Abbildung 13:	Lapidusarthrodese.....	34
Abbildung 14:	Lapidusarthrodese.....	37
Abbildung 15:	Lapidusarthrodese.....	45
Abbildung 16:	Lapidusarthrodese.....	48

8.3. Grafikverzeichnis

Grafik 1:	Geschlechterverteilung Hallux valgus Deformität.....	6
Grafik 2:	Verteilung der operierten Seite.....	7
Grafik 3:	Standardisierte Einteilung der Fußmasken.....	21
Grafik 4:	Gesamtscore - Mittelwerte Durchschnitt.....	22
Grafik 5:	Mittelwerte Schmerzen.....	24
Grafik 6:	Mittelwerte Belastungseinschränkungen.....	25
Grafik 7:	Mittelwerte Schuhe.....	26
Grafik 8:	Mittelwerte Hallux valgus Winkel.....	28
Grafik 9:	Mittelwerte Intermetatarsalewinkel (IMW).....	29
Grafik 10:	Metatarsale-Index Präoperativ.....	30
Grafik 11:	Mittelwerte Tibiale Sesambeinposition.....	31
Grafik 12:	Mittelwerte Elevationswinkel I/II.....	32
Grafik 13:	Kongruenz am MTP-I-Gelenk.....	33
Grafik 14:	Mittelwerte der Maximalkraft MTK 1 (n=33).....	34
Grafik 15:	Mittelwerte der Maximalkraft MTK 2 (n=33).....	35
Grafik 16:	Mittelwerte der Maximalkraft MTK 3 (n=33).....	35
Grafik 17:	Mittelwerte der Maximalkraft MTK 4 (n=33).....	36
Grafik 18:	Mittelwerte der Maximalkraft MTK 5 (n=33).....	36

Grafik 19:	Mittelwerte der Maximalkraft MTK 1 (n=7).....	38
Grafik 20:	Mittelwerte der Maximalkraft MTK 2 (n=7).....	38
Grafik 21:	Mittelwerte der Maximalkraft MTK 3 (n=7).....	39
Grafik 22:	Mittelwerte der Maximalkraft MTK 4 (n=7).....	39
Grafik 23:	Mittelwerte der Maximalkraft MTK 5 (n=7).....	40
Grafik 24:	Mittelwerte der Maximalkraft MTK 1 (n=40).....	41
Grafik 25:	Mittelwerte der Maximalkraft MTK 2 (n=40).....	41
Grafik 26:	Mittelwerte der Maximalkraft MTK 3 (n=40).....	42
Grafik 27:	Mittelwerte der Maximalkraft MTK 4 (n=40).....	42
Grafik 28:	Mittelwerte der Maximalkraft MTK 5 (n=40).....	43
Grafik 29:	Mittelwerte der Maximalkraft Großzehe (n=40).....	44
Grafik 30:	Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 1 (n=33).....	45
Grafik 31:	Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 2 (n=33).....	46
Grafik 32:	Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 3 (n=33).....	47
Grafik 33:	Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 4 (n=33).....	48
Grafik 34:	Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 5 (n=33).....	48
Grafik 35:	Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 1 (n=7).....	49
Grafik 36:	Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 2 (n=7).....	49
Grafik 37:	Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 3 (n=7).....	50
Grafik 38:	Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 4 (n=7).....	50
Grafik 39:	Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 5 (n=7).....	51
Grafik 40:	Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 1 (n=40).....	52
Grafik 41:	Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 2 (n=40).....	52
Grafik 42:	Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 3 (n=40).....	53
Grafik 43:	Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 4 (n=40).....	53
Grafik 44:	Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals MTK 5 (n=40).....	54
Grafik 45:	Mittelwerte des Kraft-Zeit-Integrals Großzehe (n=40).....	55
Grafik 46:	Mittelwerte der Maximalkraft der Großzehe nach Akin-Osteotomie (n=19).....	56

Grafik 47:	Mittelwerte der Maximalkraft der Großzehe ohne Akin-Osteotomie (n=21).....	56
Grafik 48:	Mittelwerte der Maximalkraft MTK I mit Akin-Osteotomie (n=21).....	57
Grafik 49:	Mittelwerte der Maximalkraft MTK I ohne Akin-Osteotomie (n=21).....	57

8.4. Abkürzungsverzeichnis

AOFAS	American Orthopaedic Foot and Ankle Society
GZEHMW	Mittelwertvergleich der Maximalkraft der Großzehe
HVW	Hallux valgus Winkel
IMW	Intermetatarsalewinkel
IP Gelenk	Interphalangealgelenk
kPa	KiloPascal
M.	Musculus
MFK	Mittelfußköpfchen
MTP-Gelenk	Metatarsophalangealgelenk
MT	Metatarsale
N	Newton, SI Einheit der Kraft.
SD	Standardabweichung
TMT I Gelenk	Tarsometatarsale-I-Gelenk
TSP	Tibiale Sesambeinposition

9. Eidestattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit von mir selbstständig und ohne fremde Hilfe sowie nur unter Benutzung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel erstellt worden ist. Die den benutzen Werken wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht.

Ich versichere weiterhin, dass diese Arbeit nicht vorher und auch nicht gleichzeitig bei einer anderen als der genannten Fakultät zur Eröffnung eines Promotionsverfahrens eingereicht worden ist.

Teterow, im Jahr 2016

André Michel

10. Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. habil. Thomas Mittlmeier danke ich für die Überlassung des Themas und die wissenschaftliche Beratung während der Arbeit.

Herrn Dr. med. Albrecht Dietze danke ich für die wissenschaftliche Beratung und die vielen konstruktiven Gespräche.

Herrn Dr. med. Eckardt Krieger danke ich für die Bereitstellung des Patientenkollektives und die Vermittlung des Promotionsthemas über Herrn Prof. Dr. med. habil. Thomas Mittlmeier.