

Aus der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik  
Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie an der  
Universität Tübingen

**Behandlung der oberen Sprunggelenksarthrose:  
Prognose der Arthrodeese und Totalendoprothese**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von**

**Scholtis, Felix**

**2020**

Dekan: Prof. Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Prof. Dr. A. Ateschrang

2. Berichterstatter: Prof. Dr. U. Leichtle

Tag der Disputation: 16.10.2020

Für meine Familie.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>8</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>1</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>7</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>9</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>12</b>
<b>2. Allgemeiner Teil</b> .....	<b>14</b>
2.1 Anatomie und Biomechanik.....	14
2.2 Die Arthrose des oberen Sprunggelenks.....	21
2.3 Anamnese, klinische Untersuchung und Diagnostik.....	27
2.4 Konservative Therapieoptionen.....	31
2.5 Gelenkerhaltende Verfahren.....	32
2.6 Die Sprunggelenksarthrodese .....	33
2.6.1 Schraubenarthrodese.....	39
2.6.2 Retrograde Nagelarthrodese.....	41
2.6.3 Kompressionsarthrodese mit einem Charnley-Fixateur.....	43
2.7 Die Totalendoprothese des oberen Sprunggelenks.....	45
<b>3. Material und Methoden</b> .....	<b>54</b>
3.1 Studiendesign.....	54
3.2 Ein- und Ausschlusskriterien .....	54
3.3 Patientenkollektiv.....	55
3.4 Patientenrekrutierung und Einbestellung.....	65
3.5 Studienablauf und Untersuchung .....	65
3.5.1 AOFAS-Score .....	66
3.5.2 Radiologische Untersuchung .....	66
3.6 Risiken und Nebenwirkungen.....	73
3.7 Elektronische Datenverarbeitung, Statistik und Literatur.....	74
<b>4. Ergebnisse</b> .....	<b>75</b>
4.1 AOFAS-Score.....	75
4.2 Subjektive Zufriedenheit .....	86
4.3 Radiologische Untersuchung.....	88
4.3.1 Knöcherner Konsolidierung nach Arthrodese .....	88



4.3.2 Anschlussarthrose rate.....	90
4.3.3 Rückfußalignment .....	95
4.3.4 Lateraler Dorsalextensions- bzw. Plantarflexionswinkel.....	97
4.3.5 Alignment der Prothesenkomponenten .....	99
4.3.6 Lockerung der tibialen- und talaren Prothesenkomponente .....	104
4.3.7 Inzidenz heterotoper Ossifikationen .....	107
4.3.8 Inzidenz periprothetischer Osteolysen .....	108
<b>5. Diskussion.....</b>	<b>109</b>
5.1 Patientenkollektiv.....	109
5.2 Ergebnisse.....	118
5.2.1 AOFAS-Score .....	118
5.2.2 Knöcherner Konsolidierung nach Arthrodese .....	121
5.2.3 Anschlussarthrose rate.....	122
5.2.4 Rückfußalignment .....	124
5.2.5 Lateraler Dorsalextensions- bzw. Plantarflexionswinkel.....	125
5.2.6 Alignment der Prothesenkomponenten .....	126
5.2.7 Lockerung der tibialen- und talaren Prothesenkomponente .....	128
5.2.8 Inzidenz heterotoper Ossifikationen .....	130
5.2.9 Inzidenz periprothetischer Osteolysen .....	131
<b>6. Zusammenfassung .....</b>	<b>133</b>
<b>7. Literaturverzeichnis.....</b>	<b>136</b>
<b>8. Anhang .....</b>	<b>148</b>
8.1 Patientenansreiben.....	148
8.2 Einwilligungserklärung.....	150
8.3 Anamnesebogen .....	151
8.4 AOFAS-Score.....	160
8.5 Ergänzungen zur Studienlage 2004-2018 .....	162
8.5.1 AOFAS-Score .....	162
8.5.2 Knöcherner Konsolidierung nach Arthrodese .....	166
8.6 Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift .....	169

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Schematische Darstellung des knöchernen Aufbaus von oberem -und unterem Sprunggelenk in der vorder- und Seitansicht .....	15
<b>Abbildung 2:</b> Bewegungsachse der Flexion und Extension (FE) im OSG. Die Bewegungsachse der Eversion und Inversion verläuft durch den Schnittpunkt der Linien (FE) und (EI) (a.p.).....	18
<b>Abbildung 3:</b> Bewegungsachse des USG (U) in der dorsoplantaren Ansicht. Ca. 23° Deviation nach medial, ausgehend von der Mittellinie des Fußes (M).....	20
<b>Abbildung 4:</b> Bewegungsachse des USG (U) in der seitlichen Ansicht. Inklination von ca. 42° zur horizontalen Achse des Fußes (H).....	20
<b>Abbildung 5:</b> Zustand nach Schussbruch der distalen Tibia mit hochgradigem Weichteildefekt und anschließendem Infektverlauf (seitlich).....	26
<b>Abbildung 6:</b> Ein gesundes oberes Sprunggelenk, seitlich und a.p (KL Grad 0) .....	30
<b>Abbildung 7:</b> Eine posttraumatische Arthrose des oberen Sprunggelenks (KL Grad 4) (seitlich).....	31
<b>Abbildung 8:</b> Eine primäre Arthrose des oberen Sprunggelenks (KL Grad 4) (a.p.).....	31
<b>Abbildung 9:</b> Pseudarthrose nach OSG-Arthrodese bei bestehender Charcot-Arthropathie (seitlich) .....	36
<b>Abbildung 10:</b> Anschlussarthrose subtalar (Grad 4) und talonavikular (Grad 2) nach OSG-Arthrodese (seitlich) .....	36
<b>Abbildung 11:</b> Beinlängendifferenz und hochgradiger Rückfußvalgus nach OSG-Arthrodese bei schwierigen Weichteil- und Knochenverhältnissen ...	37
<b>Abbildung 12:</b> Ventraler Zugang zum oberen Sprunggelenk .....	38

<b>Abbildung 13:</b> OSG-Schraubenarthrodese (a.p.) .....	41
<b>Abbildung 14:</b> Tibiotalkalkaneare Nagelarthrodese (seitlich) .....	43
<b>Abbildung 15:</b> OSG-Arthrodese mit einem Charnley-Fixateur (a.p.) .....	45
<b>Abbildung 16:</b> OSG-Arthrodese mit einem Charnley-Fixateur (seitlich) .....	45
<b>Abbildung 17:</b> HINTEGRA® (Fa. Smith & Nephew) OSG-TEP .....	48
<b>Abbildung 18:</b> Talare- (oben) und tibiale (unten) Komponente der MOBILITY™ (Fa. Depuy Synthes) OSG-TEP .....	51
<b>Abbildung 19:</b> Seitliche Ansicht einer implantierten MOBILITY™ (Fa. Depuy Synthes) OSG-TEP .....	51
<b>Abbildung 20:</b> Periprothetische Osteolyse tibial .....	53
<b>Abbildung 21:</b> Heterotope Ossifikationen bds. Tibial, Zyste talar .....	53
<b>Abbildung 22:</b> Aseptische Lockerung der tibialen Prothesenkomponente .....	53
<b>Abbildung 23:</b> Zentraler Abrieb des PE-Inlays .....	53
<b>Abbildung 24:</b> Z.n. intraoperativer Innenknöchelfraktur .....	53
<b>Abbildung 25:</b> Patientenkollektiv und erhobene Daten .....	56
<b>Abbildung 26:</b> Häufigkeitsverteilung der Patienten (n=81) auf die einzelnen Gruppen .....	57
<b>Abbildung 27:</b> Durchschnittliches Alter zum Zeitpunkt der Operation .....	58
<b>Abbildung 28:</b> Follow-up-Zeitraum der einzelnen Gruppen in Jahren .....	59
<b>Abbildung 29:</b> Häufigkeitsverteilung der Ursachen einer sekundären Arthrose (n=75) insgesamt .....	60
<b>Abbildung 30:</b> Häufigkeitsverteilung der Ursachen einer sekundären Arthrose (n=75) innerhalb der einzelnen Gruppen .....	61
<b>Abbildung 31:</b> Häufigkeitsverteilung der einzelnen Operationsmethoden (n=81) .....	62

<b>Abbildung 32:</b> Revisionsrate .....	64
<b>Abbildung 33:</b> Häufigkeit- und Grund für einen Revisionseingriff.....	64
<b>Abbildung 34:</b> Schemazeichnung a.p.- und seitlich zur Einteilung der Arthrodese fläche in Drittel. Vollständig durchbaute OSG-Arthrodese (3/3) in beiden Ebenen .....	68
<b>Abbildung 35:</b> Bestimmen des Rückfußwinkels (G) zwischen der Linie (E) und (F) anhand einer Aufnahme nach Harris (long-axial-view), in diesem Beispiel bei einliegender TEP (44) .....	69
<b>Abbildung 36:</b> Bestimmen des sagittalen Alignments anhand des lateralen Dorsalextensions- bzw. Plantarflexionswinkels, in diesem Beispiel nach Nagelarthrodese (66) .....	69
<b>Abbildung 37:</b> Positionierung der tibialen- und talaren Komponente zueinander in der Frontalebene .....	71
<b>Abbildung 38:</b> Positionierung der tibialen Komponente in der Frontalebene ( $\alpha$ ) .....	71
<b>Abbildung 39:</b> Slope ( $\beta$ ) der tibialen Komponente in der Sagittalebene.....	71
<b>Abbildung 40:</b> Projektion der talaren- im Verhältnis zur tibialen Komponente in der Frontalebene.....	71
<b>Abbildung 41:</b> Projektion der talaren- im Verhältnis zur tibialen Komponente in der Sagittalebene. Die Lage des Polyethyleninlays ist korrekt.....	71
<b>Abbildung 42:</b> Einteilung der tibialen Komponente in 5 Zonen in der a.p. Ansicht zur Lokalisation eines Lockerungssaumes .....	72
<b>Abbildung 43:</b> Einteilung der tibialen- in 5 und der talaren Komponente in 3 Zonen in der seitlichen Ansicht zur Lokalisation eines Lockerungssaumes	72
<b>Abbildung 44:</b> AOFAS - Score – Schmerz: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen ( $p=0,575$ ).....	76

<b>Abbildung 45:</b> AOFAS-Score – Funktion, Aktivität, Gehhilfen: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen (p=0,226).....	77
<b>Abbildung 46:</b> AOFAS-Score – Gehstrecke: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen (p=0,120).....	78
<b>Abbildung 47:</b> AOFAS-Score – Bodenbelag/-profil: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen (p=0,138).....	79
<b>Abbildung 48:</b> AOFAS-Score – Gehfehler: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen (p=0,199).....	80
<b>Abbildung 49:</b> AOFAS-Score - ROM Extension/Flexion im OSG. Nach Implantation einer OSG-Prothese bestand ein signifikant größeres Bewegungsausmaß in der sagittalen Ebene als nach Arthrodesese (p=0,001) .....	81
<b>Abbildung 50:</b> AOFAS-Score –ROM Inversion/Eversion im USG: Nach Implantation einer OSG-Prothese bestand auch in der frontalen Ebene ein signifikant größeres Bewegungsausmaß als nach Arthrodesese (p=0,001) ..	82
<b>Abbildung 51:</b> AOFAS-Score - Alignment in der sagittalen Ebene: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen (p=0,642) .....	84
<b>Abbildung 52:</b> AOFAS-Score – Gesamtpunktzahl: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen (p=0,115) .....	85
<b>Abbildung 53:</b> AOFAS-Score - Beurteilung der Gesamtpunktzahl .....	86
<b>Abbildung 54:</b> Hinsichtlich der subjektiven Zufriedenheit bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen (p=0,176) .....	87
<b>Abbildung 55:</b> 84% der Patienten würden sich wieder für eine Prothese entscheiden.....	87
<b>Abbildung 56:</b> Anzahl der konsolidierten- und nicht konsolidierten Arthrodesen im OSG: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen (p=1,000).....	89

<b>Abbildung 57:</b> Anzahl der konsolidierten- und nicht konsolidierten Arthrodesen im USG.....	89
<b>Abbildung 58:</b> Eine Anschlussarthrose im unteren Sprunggelenk fand sich signifikant häufiger nach OSG-Arthrodese (p=0,009).....	92
<b>Abbildung 59:</b> Anschlussarthroserate unterteilt in Arthrosegrad nach Kellgren-Lawrence – USG.....	92
<b>Abbildung 60:</b> Eine Anschlussarthrose in der Chopart-Gelenklinie fand sich signifikant häufiger nach Arthrodese .....	93
<b>Abbildung 61:</b> Anschlussarthroserate unterteilt in Arthrosegrad nach Kellgren-Lawrence - Chopart-Gelenklinie.....	93
<b>Abbildung 62:</b> Eine Anschlussarthrose in der Lisfranc-Gelenklinie fand sich signifikant häufiger nach Arthrodese .....	94
<b>Abbildung 63:</b> Anschlussarthroserate unterteilt in Arthrosegrad nach Kellgren-Lawrence - Lisfranc-Gelenklinie .....	94
<b>Abbildung 64:</b> Rückfußachse: (-) = Varus; (+) = Valgus: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen (p=0,087).....	96
<b>Abbildung 65:</b> Postoperative Rückfußachse differenziert nach neutraler-, valgischer- und varischer Stellung .....	96
<b>Abbildung 66:</b> Lateraler Dorsalextensions (-) bzw. Plantarflexionswinkel (+)..	97
<b>Abbildung 67:</b> Anteil der in plantigrader- und übermäßiger Spitzfußstellung konsolidierten Arthrodesen: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen (p=0,866) .....	98
<b>Abbildung 68:</b> Der mittlere Winkel zwischen der tibialen- und talaren Komponente im a.p. Strahlengang betrug 0,09° Varus: (-) = Varus, (+) = Valgus .....	99
<b>Abbildung 69:</b> Der Winkel ( $\alpha$ ) betrug im Mittel 89,86° Varus:.....	100

<b>Abbildung 70:</b> Im Mittel bestand ein posteriorer Slope der tibialen Komponente von 90,63° .....	101
<b>Abbildung 71:</b> Projektion der talaren- im Verhältnis zur tibialen Komponente in der Frontalebene; (-) = zu weit medial; (+) = zu weit lateral .....	102
<b>Abbildung 72:</b> Projektion der talaren- im Verhältnis zur tibialen Komponente in der Sagittalebene .....	103
<b>Abbildung 73:</b> Häufigkeitsverteilung von Lockerungssäumen (1mm und >2mm) in den Zonen der tibialen Komponente .....	105
<b>Abbildung 74:</b> Häufigkeitsverteilung von Lockerungssäumen (1mm und >2mm) in den Zonen der talaren Komponente .....	106
<b>Abbildung 75:</b> Lokalisation heterotoper Ossifikationen: PL=Posterolateral, PM=Posteromedial, AL=Anterolateral, AM=Anteromedial.....	108

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Makroskopische Veränderungen des Gelenkknorpels bei Arthrose nach Glückert et al. (34).....	23
<b>Tabelle 2:</b> ICRS-Klassifikation von Knorpelschäden nach Brittberg et al. auf Grundlage arthroskopischer Untersuchungen (36) .....	23
<b>Tabelle 3:</b> Ätiologie der posttraumatischen Sprunggelenksarthrose (37).....	26
<b>Tabelle 4:</b> Klassifikation der Arthrose am oberen Sprunggelenk nach Kellgren-Lawrence (KL) (46) .....	30
<b>Tabelle 5:</b> Indikationen zur Arthrodese des OSG .....	34
<b>Tabelle 6:</b> Kontraindikationen zur Arthrodese des OSG .....	34
<b>Tabelle 7:</b> Häufige Komplikationen nach OSG-Arthrodese (4, 26, 47).....	36
<b>Tabelle 8:</b> Häufig verwendete Dreikomponentenprothesen (34).....	48
<b>Tabelle 9:</b> Absolute und relative Kontraindikationen zur OSG-TEP .....	49
<b>Tabelle 10:</b> Häufige Komplikationen nach der Implantation einer OSG-TEP (26, 34, 60).....	52
<b>Tabelle 11:</b> Vollständigkeit der knöchernen Konsolidierung der OSG-Arthrodese im Röntgenbild.....	67
<b>Tabelle 12:</b> Klassifikation der Anschlussarthrose anhand röntgenologischer Gesichtspunkte nach Kellgren-Lawrence (46).....	68
<b>Tabelle 13:</b> Klassifikation heterotoper Ossifikationen am OSG nach der von Lee und Cho modifizierten Brooker-Klassifikation (69) .....	73
<b>Tabelle 14:</b> Häufigkeit, Lokalisation und Grad der heterotopen Ossifikation anhand der von Lee und Cho modifizierten Brooker-Klassifikation bei einliegender OSG-Prothese .....	107
<b>Tabelle 15:</b> Demografische Daten vergleichender Studien 2004-2018 .....	112



**Tabelle 16:** Revisionsraten nach OSG-Arthrodese und OSG-Prothese..... 117

**Tabelle 17:** AOFAS-Score Ergebnisse vergleichender Studien 2004-2018 ... 120

## Abkürzungsverzeichnis

1.  $\alpha$  = alpha
2.  $\beta$  = beta
3. ® = Registered Trademark
4.  $\emptyset$  = Durchschnitt
5. A.p. = Anterior-posterior
6. AAA = Arthroskopisch assistierte Arthrodesse
7. aADTA = anatomischer anteriorer distaler Tibiawinkel
8. ACT = Autologe Chondrozyten Transplantation
9. ADL = Aktivitäten des täglichen Lebens
10. ANOVA = Varianzanalyse
11. AO = Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
12. AOFAS = American Orthopaedic Foot and Ankle Society
13. BMI = Body Mass Index
14. bsp. = Beispielsweise
15. Ca. = Zirka
16. CT = Computertomographie
17. DFG = Deutsche Forschungsgemeinschaft
18. Dr. = Doktor
19. ECM = Extrazelluläre Matrix
20. EI = Eversion-Inversion
21. Et al. = Und andere
22. Fa. = Firma
23. FE = Flexion-Extension
24. Fn-f = Fibronectin fragment
25. GAG = Glykosaminoglykane
26. HA = Hydroxylapatit
27. HO = Heterotope Ossifikationen
28. ICRS = International Cartilage Research Society
29. IL-1 = Interleukin-1
30. ITCL = Ligamentum talocalcaneum interosseum

31. kg = Kilogramm
32. KL = Kellgren-Lawrence
33. Kl. = Klassifikation
34. LFC = Ligamentum fibulocalcaneare
35. LFTA = Ligamentum fibulotalare anterius
36. LFTP = Ligamentum fibulotalare posterius
37. M. = Musculus
38. max. = Maximal
39. MIC-OSG-TEP = Minimal invasive OSG – Totalendoprothese
40. mLDTA = Mechanischer lateraler distaler Tibiawinkel
41. mm = Milimeter
42. mm<sup>2</sup> = Quadratmilimeter
43. MRT = Magnetresonanztomographie
44. n = Anzahl
45. N = Newton
46. NSAR, NSAP = Nichtsteroidale Antirheumatika, Nichtsteroidale Antiphlogistika
47. OA = Oberarzt
48. OATS = Osteochondral Autograft Transfer System
49. OCL = Osteochondrale Läsion
50. OSG = Oberes Sprunggelenk
51. p = Signifikanzwert
52. pAVK = periphere arterielle Verschlusskrankheit
53. PE = Polyethylen
54. Prof. = Professor
55. ROM = Range of Motion
56. SD = Standardabweichung
57. SPECT = Single-Photon-Emissions-Tomographie
58. Syn. = Synonym
59. TEP = Totalendoprothese
60. ™ = Trademark
61. TNF-alpha = Tumornekrosefaktor-alpha

- 62. TTC = Tibiocalcanear
- 63. USG = Unteres Sprunggelenk
- 64. VAS = Visuelle Analogskala
- 65. z. B. = Zum Beispiel
- 66. Z.n. = Zustand nach
- 67.  $\chi^2$ -Test = Chi-Quadrat-Test

## 1. Einleitung

Als funktionelles Bindeglied zwischen dem Unterschenkel und dem Fuß, übernimmt das obere Sprunggelenk eine tragende Rolle in unserem täglichen Leben. Seiner komplexen Anatomie und Biomechanik geschuldet, ist es jedoch auch in einem besonderen Maße verletzungsanfällig. Veränderungen der biomechanischen Verhältnisse und direkte Schäden am Gelenkknorpel führen auf lange Sicht zu einer arthrotischen Zerstörung des Gelenks.

Mehr denn je wünschen wir uns dieser Tage bis in das hohe Alter hinein aktiv am Leben teilnehmen zu können. Im Zuge des demografischen Wandels und der steigenden Lebenserwartung, nimmt allerdings auch die Anzahl unvorhergesehener Unfälle und die Inzidenz degenerativer Erkrankungen zu (1, 2). Etwa 1% der Bevölkerung leiden heute unter einer Arthrose des oberen Sprunggelenks (3). In 80% kann diese auf ein Trauma zurückgeführt werden. Zu den häufigsten Verletzungsformen zählen OSG-Frakturen, ligamentäre Verletzungen und Pilonfrakturen. 58% der Arthrosen des Hüft- und 67% des Kniegelenks können auf eine primäre Arthrose zurückgeführt werden. Demgegenüber machen primäre Arthrosen des oberen Sprunggelenks mit 9% nur einen geringen Anteil aus (4-6). Langfristig führt die Arthrose zu einer funktionellen- und schmerzhaften Einschränkung der Beweglichkeit. Charakteristisch ist ein im Tagesverlauf und unter Belastung zunehmender, periartikulärer Schmerz (6). Die Lebensqualität wird hierdurch eingeschränkt. Nicht selten sehen sich die Patienten einer enormen sozialen-, psychologischen- und ökonomischen Belastung ausgesetzt (7).

Liegt eine konservativ austherapierte Sprunggelenksarthrose vor, stehen den Patienten mit der Arthrodeese und der Totalendoprothese zwei Operationsverfahren zur Auswahl. Während die Arthrodeese lange Zeit als unangefochtener Goldstandard erachtet wurde, muss sie sich dieser Tage mit den erfreulichen Ergebnissen der Sprunggelenksendoprothetik messen (4, 8, 9). Bei einer Arthrodeese wird das obere Sprunggelenk unter Aufopferung der

Beweglichkeit versteift. Die meisten Patienten werden dadurch schmerzfrei. Bedenklich sind die zum Teil hohen Pseudarthrose- (ca. 11%) und Anschlussarthroseraten (bis zu 100% subtalar) (8, 10, 11). Eine Totalendoprothese hingegen ersetzt das Gelenk artifiziell. Dadurch bleibt die Beweglichkeit im oberen Sprunggelenk erhalten bzw. wird wiederhergestellt. Die Implantation einer Sprunggelenksprothese erfordert viel Erfahrung. Es konnte gezeigt werden, dass zwischen den Standzeiten einer Prothese und der Lernkurve des Operateurs ein Zusammenhang besteht (12). Lockerungen der Prothesenkomponenten und perioperative Komplikationen, wie das Auftreten von Anschlussarthrosen, heterotopen Ossifikationen und Osteolysen schmälern die positiven Eigenschaften der Prothese (13). Die Revisionsraten sind im Vergleich mit der Knie- und Hüftgelenksprothetik mehr als doppelt so hoch. Durchschnittlich müssen 10-30% der Prothesen nach 10 Jahren bereits revidiert oder sogar explantiert werden (14, 15).

Die Studienlage der letzten Jahre zeigt: Beide Verfahren haben in den Händen eines erfahrenen Operateurs und bei richtiger Indikationsstellung ihre Daseinsberechtigung. Um den Fortschritt der letzten Jahre abzubilden und eine definitive Aussage bezüglich der Überlegenheit eines der Verfahren machen zu können, sind weitere Langzeitstudien unter standardisierten Bedingungen notwendig (13, 16, 17).

Das Ziel dieser Arbeit bestand in einer systematischen, vergleichenden Analyse anamnestischer-, klinischer- und radiologischer Parameter nach Sprunggelenksarthrodese und Totalendoprothese. Im Speziellen sollten dabei die folgenden Fragen aufgearbeitet werden:

- Gibt es Unterschiede hinsichtlich der erzielten Ergebnisse im AOFAS-Score?
- Kann durch die Prothesenimplantation die Inzidenz der Anschlussarthroserate reduziert werden?
- Inwiefern korreliert das klinische- mit dem radiologischen Outcome?

## 2. Allgemeiner Teil

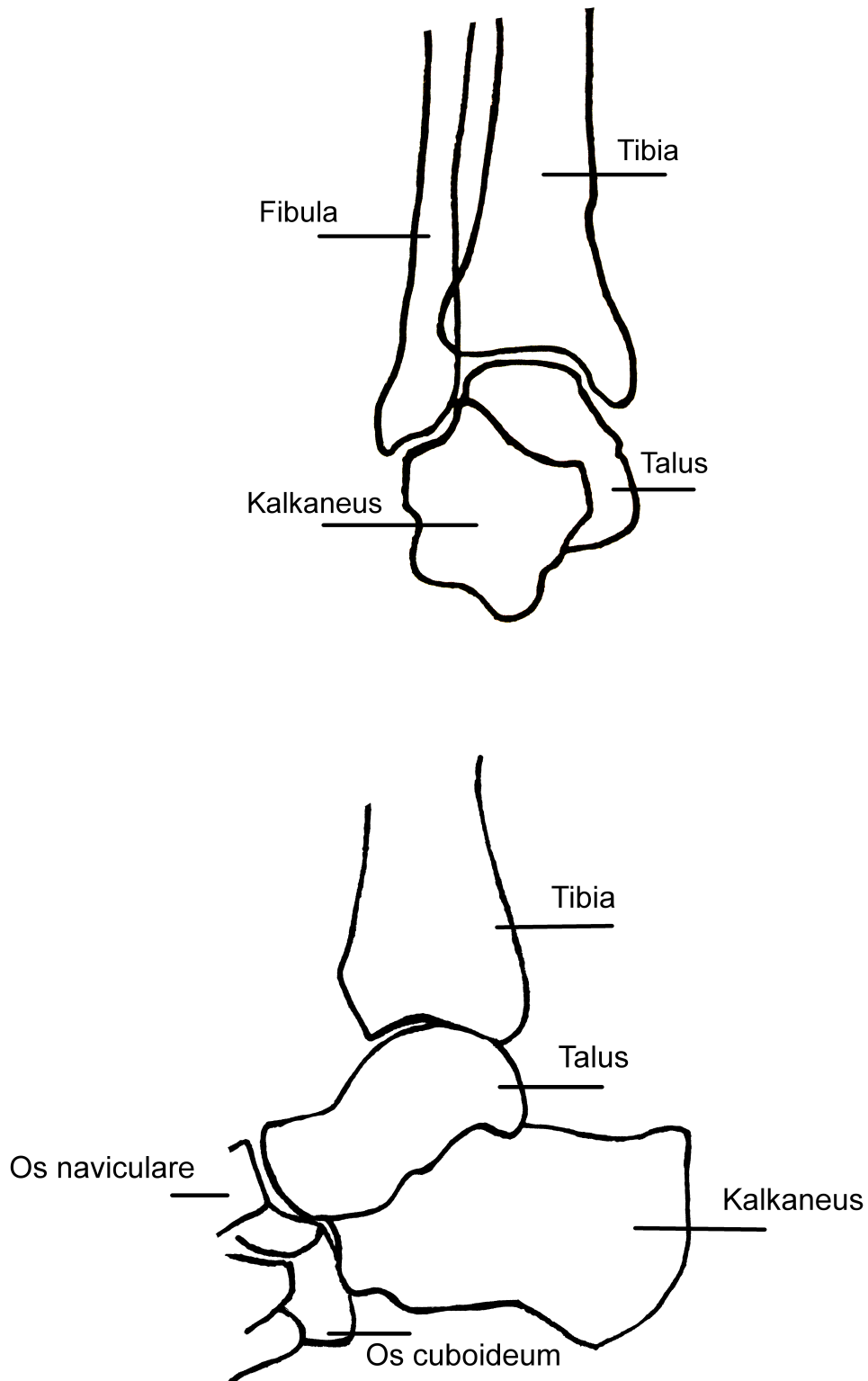
### 2.1 Anatomie und Biomechanik

Das menschliche Sprunggelenk spielt eine essentielle Rolle beim Gehen und den allermeisten Aktivitäten des täglichen Lebens (18). Sein Aufbau ist kompliziert und die Bewegungsabläufe in Ihrer Gesamtheit bis heute noch nicht abschließend verstanden (19). Das Operieren am Sprunggelenk erfordert gerade deshalb vom behandelnden Chirurgen höchste Präzision und genaue Kenntnisse der anatomischen Strukturen und Biomechanik (20).

Anders als bei vierfüßigen Säugetieren muss der Körperschwerpunkt des Menschen über eine im Vergleich sehr kleine Fläche balanciert werden. Auf dem durch das Sprungbein (Talus) und das Fersenbein (Kalkaneus) gebildeten Rückfuß liegt dabei die größte Last (18, 21). Während dem Gehen muss der Rückfuß dem Fünffachen, beim Laufen sogar dem bis zu Dreizehenfachen des Körpergewichtes standhalten (18).

Das talokrurale-, subtalare-, talonavikulare- und das kalkaneokuboidale Gelenk formen den „Sprunggelenks-Komplex“ (18). Streng genommen wird das talokrurale Gelenk im angloamerikanischen Raum nicht zum Rückfuß gezählt (22) (Abbildung 1).

Das obere Sprunggelenk (syn. OSG, *Articulatio talocruralis*) stellt die Verbindung zwischen der Tibia, der Fibula und dem Talus her. Die Tibia artikuliert dabei über den medialen Malleolus und das Pilon tibiale mit dem Talus. Das Pilon tibiale ist in der sagittalen Ebene konkav geformt und steht in der frontalen Ebene medialseitig etwas höher. Dadurch entsteht eine physiologische Varusstellung, die bei Frauen tendenziell etwas stärker ausgeprägt ist (23, 24). Die *Facies articularis malleolaris lateralis* der Fibula bildet zusammen mit dem Talus den lateralen Anteil des oberen Sprunggelenks. Der prominentere Außenknöchel reicht im Vergleich zum Innenknöchel deutlich weiter nach distal (23).



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung des knöchernen Aufbaus von oberem -und unterem Sprunggelenk in der vorder- und Seitansicht



Durch seine hohe Kongruenz besitzt das obere Sprunggelenk in jeder Position eine enorme Stabilität (23). Da der Talus vorne breiter ist als hinten, wird er während der Dorsalextension besonders fest von der Malleolengabel umfasst (20). Im Sinne einer dynamischen Fixierung kommt es bei maximaler Dorsalextension im oberen Sprunggelenk zu einer Innenrotation im Unterschenkel, der Rückfuß wird evertiert und valgisiert. Im Vorfuß kommt es zu einer Pronation. Während der Plantarflexion rotiert der Unterschenkel nach außen, der Rückfuß wird invertiert und varisiert. Im Vorfuß kommt es zu einer Supination (20, 23). Die Malleolengabel ist in dieser Position relativ zu weit für den schmäleren hinteren Teil des Talus, wodurch leichte Wackelbewegungen möglich werden (25).

Die Gelenkkapsel setzt an der jeweiligen Knorpel-Knochen-Grenze an (25). Überdies stellen zahlreiche ligamentäre und muskuläre Strukturen die statische und dynamische Stabilität des Sprunggelenks sicher (20). Der laterale Bandapparat besteht im Wesentlichen aus drei Bändern: Das Lig. fibulotalare anterius (LFTA) verhindert in Plantarflexion die Translation nach vorne und die Innenrotation. Das Lig. fibulotalare posterius (LFTP) ist das stärkste Band des lateralen Bandkomplexes und ist besonders in Dorsalextension angespannt (20, 23). Es limitiert die Translation nach hinten und die Außenrotation. Durch das Lig. fibulocalcaneare (LFC) wird die Inversion in Neutralstellung und die Dorsalflexion begrenzt (20). Die Syndesmose, gebildet aus dem Lig. tibiofibulare anterior inferior, Lig. tibiofibulare posterior inferior, Lig. tibiofibulare transversum und der Membrana interossea, garantiert die Aufrechterhaltung der Stabilität und Integrität der Malleolengabel (20). Der mediale Bandapparat besteht aus einem fächerförmig angeordneten Bandkomplex, dem Lig. deltoideum, das seinerseits aus einem oberflächlichen und einem tiefen Blatt besteht. Es beschränkt die mediale Aufklappbarkeit des Sprunggelenks und stabilisiert es insbesondere während der Plantarflexion, der Außenrotation und der Pronation (20).

Die den „Sprunggelenks-Komplex“ umgebende Muskulatur kann in 4 Kompartimente aufgeteilt werden. Das vordere Kompartiment schließt den M.

tibialis anterior, M. extensor digitorum longus, M. extensor hallucis longus und den M. peroneus tertius ein. Wobei der M. tibialis anterior und der M. extensor hallucis longus die Dorsalflexion und Inversion ermöglichen. Die Funktion des M. peroneus tertius besteht in einer Dorsalflexion und Eversion des Fußes. Der M. extensor digitorum longus führt eine Dorsalflexion durch. Das laterale Kompartiment besteht aus dem M. peroneus brevis und longus, die eine Plantarflexion und Eversion des Fußes erlauben. Das oberflächliche hintere Kompartiment besteht aus dem M. gastrocnemius, dem M. soleus und dem M. plantaris. Sie bringen den Fuß in die Plantarflexion. Das tiefe hintere Kompartiment besteht aus dem M. tibialis posterior, dem M. flexor digitorum longus und dem M. flexor hallucis longus. Sie führen eine Plantarflexion und eine Inversion des Fußes durch (18).

Das obere Sprunggelenk ermöglicht eine kombinierte Roll-Gleit Bewegung (26). Seinem komplexen Aufbau geschuldet, ändert sich die Bewegungsachse je nach Stellung des Gelenks, das bedeutet es kann nicht von einer konstanten Bewegungsachse im Sinne eines Scharniergelenks gesprochen werden. Das Ausmaß der auftretenden Rotation wird zusätzlich durch die Beschaffenheit des medialen und lateralen Bandapparates beeinflusst (23, 27, 28). Ungeachtet dessen wird in der gegenwärtigen Literatur eine unter der Spitze des Malleolus medialis beginnend, durch die dickste Stelle des Malleolus lateralis verlaufende transversale Achse beschrieben (Abbildung 2). Um diese Achse kann eine Dorsalflexion von ca. 13-33° und eine Plantarflexion von ca. 23-56° durchgeführt werden (23, 25, 29). Daraus ergibt sich ein Gesamtbewegungsumfang von ca. 43-63° (26). Interkulturelle, geographische, geschlechtliche wie auch altersabhängige Schwankungen bezüglich der maximalen Bewegungsausmaße werden beobachtet. Diese lassen sich zum Teil auch durch das interindividuell unterschiedliche Aktivitätslevel oder durch nicht einheitlich durchgeführte Untersuchungsmethoden erklären (18).

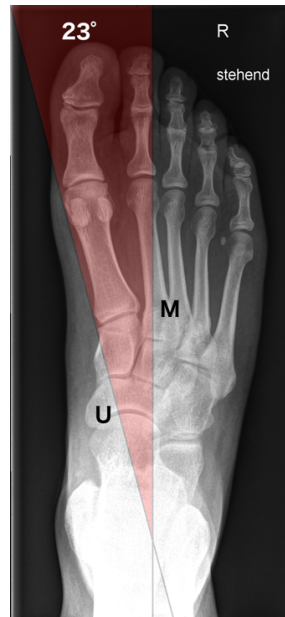


**Abbildung 2:** *Bewegungsachse der Flexion und Extension (FE) im OSG. Die Bewegungsachse der Eversion und Inversion verläuft durch den Schnittpunkt der Linien (FE) und (EI) (a.p.)*

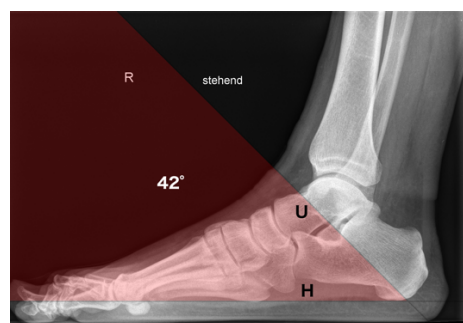
Der Kalkaneus ist der größte und am weitesten dorsal gelegene Knochen des Fußes. Zusammen mit dem Talus formt er das untere Sprunggelenk (USG, Articulatio subtalaris) (18). Aufgrund der funktionellen Beteiligung des Os naviculare findet sich in der Literatur auch häufig die Bezeichnung Articulatio talocalcaneonavicularis für das untere Sprunggelenk (30). Im allgemeinen Sprachgebrauch werden die Begriffe unteres Sprunggelenk und Articulatio subtalaris synonym verwendet (30, 31). Die Articulatio subtalaris wird durch 3 Gelenkflächen auf der Unterseite des Talus bzw. der Oberseite des Kalkaneus gebildet (31). Die hintere Facette ist die größte und formt ein sattelähnliches Gelenk. Der talare Anteil ist konkav, der kalkaneare Anteil konvex geformt. Die hintere Facette ist von der vorderen- und mittleren Facette getrennt, wobei die vordere- und mittlere Facette auch miteinander verbunden sein können. Der talare Anteil der vorderen- und mittleren Facette ist konvex geformt, der kalkaneare Anteil hingegen konkav (31). Die Größe und Form der einzelnen Facetten unterliegen interindividuellen Abweichungen (31). Eine Vielzahl an ligamentären Strukturen sind an der Verstärkung der Gelenkkapsel beteiligt. Das im Sinus tarsi, einer Art Tunnel zwischen Talus und Kalkaneus, liegende, kräftige Lig. talocalcaneum interosseum (ITCL) trennt den vorderen- vom hinteren Anteil des Gelenks. Weiterhin werden das Lig. talocalcaneum interosseus anterior und das Retinaculum extensorum inferior zu den Bändern

des unteren Sprunggelenks gezählt. Bezüglich der genauen Terminologie, Funktion und Lokalisation der einzelnen Bandstrukturen am unteren Sprunggelenk herrscht keine Einigkeit (29). Neben den Bandstrukturen des OSG, trägt auch der Sehnenverlauf des M. peroneus longus und brevis, des M. flexor hallucis longus, des M. tibialis posterior und des M. flexor digitorum longus zur Stabilität im USG bei (18).

Während im oberen Sprunggelenk eine kombinierte Roll-Gleitbewegung möglich ist, kann im unteren Sprunggelenk gedreht werden. Man bezeichnet diese Bewegungen isoliert als Inversion und Eversion. Sie beschreiben die alleinige Beweglichkeit des Kalkaneus gegenüber dem Talus in der Frontalebene. Die Bewegungsachse verläuft dabei schräg durch das Zentrum des Taluskopfes nach außen-hinten-unten zum lateralen Kalkaneus (Abbildung 2) (32). Somit weicht die Bewegungsachse (U) des USG in der dorsoplantaren Ansicht des Fußes ca.  $23^\circ$  nach medial von der Mittellinie des Fußes (M) ab (Abbildung 3). In der seitlichen Ansicht weicht die Achse zudem mit einer Inklination von ca.  $42^\circ$  von der horizontalen Achse ab (Abbildung 4). Jastifer et al. stellten fest, dass die Angaben um diese Gradzahlen jedoch deutlich variieren (29, 32).



**Abbildung 3:** *Bewegungsachse des USG (U) in der dorsoplantaren Ansicht. Ca. 23° Deviation nach medial, ausgehend von der Mittellinie des Fußes (M)*



**Abbildung 4:** *Bewegungsachse des USG (U) in der seitlichen Ansicht. Inklination von ca. 42° zur horizontalen Achse des Fußes (H)*

Das isolierte Gesamtbewegungsausmaß im USG beträgt etwa 35° (23° Inversion und 12° Eversion). Kombinierte Bewegungen aus oberem- und unterem Sprunggelenk werden als Pronation und Supination bezeichnet. Sie beschreiben die Beweglichkeit des gesamten Vorfußes gegen den Talus und den Unterschenkel. Auch das Art. tarsi transversa (Chopart-Gelenk) nimmt an diesen Bewegungen teil. Bewegungen im Chopart-Gelenk, bestehend aus dem Art. talonaviculare und dem Art. calcaneocuboidale finden um die gleiche Achse

statt, wie jene Bewegungen im Art. subtalaris. Daher wird das Chopart-Gelenk gemeinhin auch als funktionelle Einheit des unteren Sprunggelenks verstanden (18). Bei der Pronation wird der laterale Fußrand angehoben. Das geschieht durch eine gleichzeitige Dorsalflexion, Eversion und Abduktion. Bei der Supination wird der mediale Fußrand angehoben. Hierzu wird der Fuß plantarflektiert, invertiert und adduziert (18, 23). Die Bewegungen im oberen- und unteren Sprunggelenk werden hinsichtlich der Nomenklatur getrennt beschrieben. Heute ermöglichen aufwändige Ganganalysen eine objektive Quantifizierung der Bewegungen und Kräfte im Fuß und Sprunggelenk. Respektive der derzeitigen Literatur wird deutlich, dass sich die Bewegungen der einzelnen Gelenke in vivo nicht isoliert beschreiben lassen, sondern vielmehr als Kombinationsbewegungen verstanden werden müssen (18, 29, 31). Die Blutversorgung des „Sprunggelenks-Komplexes“ wird auf der Vorderseite durch die A. tibialis anterior mit ihren Ästen gewährleistet. Dorsal verläuft die A. tibialis posterior. Aus ihr entspringen die Rami malleolares mediales. Die A. fibularis, ein Ast der A. tibialis posterior, stellt über die Rami malleolares lateralis die Blutversorgung des Außenknöchels sicher. Der Talus wird größtenteils aus der A. tibialis posterior versorgt. Da der Talus zu etwa 57% mit Knorpel überzogen ist und auch keine Blutversorgung über Muskel- oder Sehnenansätze stattfindet, ist er besonders anfällig für die Entstehung von Nekrosen (33). Aus diesem Grund müssen die Gefäße im Rahmen operativer Interventionen im Besonderen geschont werden (34).

### 2.2 Die Arthrose des oberen Sprunggelenks

Lange Zeit beschrieb der Begriff Arthrose (syn. Arthrosis deformans, Osteoarthrose, degenerative Arthropathie) eine isolierte Erkrankung des Gelenkknorpels und des darunterliegenden Knochens. So gelang die Abgrenzung zu den rheumatischen Gelenkpathologien, bei denen primär die Synovialmembran betroffen ist (34). Mitte der 1990er Jahre begann man die Arthrose als eine heterogene Gruppe von Erkrankungen mit unterschiedlicher Ätiologie zu verstehen. Es wurde deutlich, dass es sich um eine Erkrankung

des gesamten Gelenkes, also auch der Synovialmembran, des subchondralen Knochens und der angrenzenden Weichteile handelt (34).

Spricht man heute von einer Sprunggelenksarthrose, ist meist die Arthrose des oberen Sprunggelenks gemeint (34). Der vergleichsweise geringen Inzidenz einer Sprunggelenksarthrose geschuldet, fand und findet ein Großteil der pathogenetischen Untersuchungen der Arthrose auf der Grundlage von Knie- und Hüftgelenksarthrosen statt (34). Die im Folgenden beschriebenen Erkenntnisse lassen sich im Wesentlichen jedoch auf alle Gelenke anwenden (34).

Durch ein Missverhältnis zwischen Belastung und Regeneration entstehen zunächst isolierte Knorpelschäden mit Rissbildung des oberflächlichen hyalinen Knorpels. Infolge Größenprogredienz, kommt es schließlich zu der Ausbildung einer Arthrose. Diese ist als eine großflächige Knorpelschädigung der artikulierenden Gelenkflächen mit unscharfer Begrenzung definiert. Die Höhenabnahme des hyalinen Gelenkknorpels führt im Endresultat zu einer Störung der Gelenkhomöostase (7, 34). Makroskopisch kommt es dabei zunächst zu einer gelblichen Verfärbung des Knorpels. Er wird weich und rissig. Schließlich liegt der unter ihm liegende Knochen vollständig frei, man spricht dann von einer Knorpelglatte (34). Aus der verminderten Elastizität des Knorpels resultiert eine Mehrbelastung des Knochens. Röntgenologisch stellt sich dies durch eine Sklerosierungen des subchondralen Knochens dar (34). Im Bereich der Gelenkflächenränder treten Schub- und Scherkräfte auf, die zur Ausbildung von Osteophyten führen (35). Durch Einbruch der Knochengrenzlamellen entstehen Zysten, die einerseits mit dem Gelenkraum in Verbindung stehen, andererseits Anschluss an den Markraum finden können (34).

Am Ende dieser Kaskade steht ein deformiertes Gelenk (35). Glückert et al. haben 1990 eine Einteilung der makroskopischen Knorpelveränderungen in 5 Grade vorgenommen. Sie wurde bis dato vielfach modifiziert, hat jedoch in dieser Form nach wie vor Bestand (Tabelle 1) (34). Auf Grundlage arthroskopischer Untersuchungen wird häufig die ICRS-Klassifikation nach Brittberg et al. verwendet (Tabelle 2) (36).

Grad 0	Normaler Knorpel
Grad 1	Knorpelerweichung, leichte Knorpelfibrillationen
Grad 2	Mäßige Knorpelfibrillationen
Grad 3	Schwere Knorpelfibrillationen
Grad 4	Ausgeprägte Erosionen mit Knorpelglätze

**Tabelle 1:** Makroskopische Veränderungen des Gelenkknorpels bei Arthrose nach Glückert et al. (34)

Grad 0	Keine erkennbaren Defekte
Grad 1a	Intakte Oberfläche, Fibrillationen und/oder leichte Erweichung
Grad 1b	Zusätzliche oberflächliche Risse/Fissuren
Grad 2	Läsionstiefe <50% der Knorpeldicke (abnormaler Knorpel)
Grad 3a	>50% Tiefe der Knorpeldicke, nicht bis zur kalzifizierenden Schicht (schwer abnormaler Knorpel)
Grad 3b	>50% Tiefe der Knorpeldicke, bis zur kalzifizierenden Schicht
Grad 3c	>50% Tiefe der Knorpeldicke, bis zur subchondralen Platte
Grad 3d	>50% Tiefe der Knorpeldicke, mit Blasenbildung
Grad 4a/b	Vollständige Knorpelläsion mit Durchbruch der subchondralen Platte

**Tabelle 2:** ICRS-Klassifikation von Knorpelschäden nach Brittberg et al. auf Grundlage arthroskopischer Untersuchungen (36)



Sozialmedizinisch gesehen spielt der Prozess der Arthroseentstehung eine große Rolle, da jedes Individuum früher oder später eine Arthrose entwickeln kann. Die Arthrose stellt die häufigste, chronische muskuloskelettale Erkrankung und die Hauptursache für Invalidität im Alter dar (7). Langfristig stellt sie eine enorme soziale, psychologische und ökonomische Belastung für den Patienten dar (7). Durch Adipositas und steigende Lebenserwartungen in unserer heutigen Gesellschaft, ist mit einer weiteren Zunahme der an Arthrose erkrankten Patienten zu rechnen (7).

Ungefähr 15% der erwachsenen Weltbevölkerung leiden unter Gelenkbeschwerden in Folge von Arthrose (6, 37). Im Mittel beginnen die Knorpelveränderungen ab der dritten Lebensdekade wobei lediglich ein Viertel aller Betroffenen subjektive Beschwerden angeben. Grundsätzlich können alle synovialen Gelenke von einer Arthrose betroffen sein (7). Am häufigsten manifestiert sie sich an der Wirbelsäule. Peripher treten Arthrosen vor allem am Knie-, Schulter- und Hüftgelenk auf (35). Eine Arthrose des oberen Sprunggelenks findet sich lediglich in 6-13% aller Fälle und ist damit etwa 3- bis 10-mal seltener als eine Arthrose des Knie- oder Hüftgelenks (4, 5, 26).

Die Entstehung der Arthrose ist multifaktoriell bedingt. Ätiologisch unterscheidet man eine primäre- von einer sekundären Arthrose (34). Der genaue Entstehungsmechanismus einer primären Arthrose ist im Detail noch nicht verstanden (34, 35). Sekundäre Arthrosen hingegen entwickeln sich auf dem Boden von Traumen, Entzündungen, metabolischen Erkrankungen oder biomechanischen Fehlstellungen (34, 37). Auch sportliche Überlastungen und übermäßig lange Immobilisierungen eines Gelenks können zu arthrotischen Veränderungen im Sinne einer sekundären Arthrose führen (7).

Muskelatrophien können die Entstehung der Arthrose beschleunigen, jedoch aber auch als Folge dieser auftreten (7). Ungeachtet der Ätiologie beeinflussen weitere Faktoren den Verlauf. Hierzu gehören die Art und das Ausmaß der Belastung nach bereits eingetretener Schädigung, biochemische- und neurogene Prozesse, das Alter, das Geschlecht, die Herkunft und auch hereditäre Faktoren (7, 34). Etwa 58% der Arthrosen des Hüft- und 67% des Kniegelenks lassen sich auf degenerative Prozesse zurückführen, wohingegen

70-80% aller Sprunggelenksarthritiden in Folge traumatischer Ereignisse entstehen (4, 6, 28, 37, 38). Nahezu umgekehrt verhält es sich am Hüft- und Kniegelenk. Nur 2-10% der Arthrosen entstehen hier in Zusammenhang mit einem Trauma (5, 28). Rheumatoide Arthritiden, Hämophilien, Hämochromatosen oder Osteonekrosen gehören mit 13% zu den selteneren Ursachen einer Sprunggelenksarthrose (6, 37).

Mit etwa 9% machen primäre Arthrosen am OSG den geringsten Anteil aus (6, 37). Patienten mit einer posttraumatischen Sprunggelenksarthrose sind durchschnittlich 14 Jahre jünger, als jene mit einer Arthrose anderer Gelenke (28). Das Stadium der endgradigen Arthrose wird im Mittel 10-20 Jahre nach dem Unfallereignis und damit erheblich früher als bei Patienten mit einer degenerativen Arthrose anderer Gelenke der unteren Extremität erreicht (5, 6, 28, 39). In einer großen Fallserie haben Valderrabano et al. 2008 die Ätiologie der Sprunggelenksarthrose untersucht. Dabei führten vor allem OSG-Frakturen (AO Kl. 44), ligamentäre Verletzungen und Pilonfrakturen (AO Kl. 43) zu der Entstehung einer OSG-Arthrose (Tabelle 3). Die akute Traumatisierung des OSG führt zu Knorpelschäden, avaskulären Knochennekrosen und gegebenenfalls zu chronischen Instabilitäten. Der schlanke Weichteilmantel prädisponiert für offene Frakturen. Im Zuge dessen kommt es nicht selten zu Komplikationen, wie etwa Weichteildefekten mit nachfolgendem Infektverlauf (39). Eine anatomische Rekonstruktion der Gelenkflächen gelingt nicht in allen Fällen (37).

Posttraumatische Arthrose	Patienten	Prozent
OSG-Frakturen (AO Kl. 44)	157	39%
Ligamentäre Verletzungen	65	16%
Pilonfrakturen (AO Kl. 43)	58	14%
Tibiaschaftfrakturen (AO Kl. 42)	20	5%
Talusfrakturen	9	2%
Schwere Kombinationsfrakturen	9	2%
<b>Gesamt</b>	<b>318</b>	<b>78%</b>

**Tabelle 3:** Ätiologie der posttraumatischen Sprunggelenksarthrose (37)



**Abbildung 5:** Zustand nach Schussbruch der distalen Tibia mit hochgradigem Weichteildefekt und anschließendem Infektverlauf (seitlich)

Hintermann et al. konnten in einer arthroskopischen Studie mit 148 Patienten zeigen, dass 66% der Patienten mit lateraler- und 98% der Patienten mit medialer Instabilität in Folge einer- oder mehrerer OSG-Distorsionen, osteochondrale Läsionen (OCL) im oberen Sprunggelenk aufwiesen (40). Ein Blick auf die komplexe Sprunggelenkskinematik verdeutlicht, dass bereits aus minimalen Inkongruenzen ein unphysiologisches Bewegungsmuster resultieren

kann. Es kommt zu einer Deviation der Bewegungsachsen und damit zu einer ungleichmäßigen Verteilung der Last im Gelenk (4, 7). Durch eine Verletzung der Bandstrukturen wird das Gelenk instabil. Jede Belastung führt nun zu Scherkräften und der Knorpel wird weiter geschädigt (7).

Es existieren zahlreiche Untersuchungen zur Arthrose-Entstehung am Hüft- und Kniegelenk. Allerdings können daraus keine direkten Rückschlüsse auf das Sprunggelenk gezogen werden, sodass die derzeitige Evidenz hinsichtlich der Entstehung einer Sprunggelenksarthrose gering bleibt (28, 41).

### 2.3 Anamnese, klinische Untersuchung und Diagnostik

Klinisch imponieren isolierte, belastungsabhängige Schmerzen im Bereich des Gelenkspaltes (6). Schmerzen bei vermehrter Dorsalextension (z. B. beim bergauf gehen) können hinweisend auf ein vorderes Impingement oder aber auch eine Arthrose des talonavikularen Gelenks sein. Treten die Beschwerden in Plantarflexion auf, kann eine weiter hinten im Gelenk lokalisierte Pathologie vorliegen (z. B. posteriorer Knorpelschaden) (4). Nicht selten fluktuieren die Beschwerden im Tagesverlauf, sodass es einerseits zu akuten Beschwerdeverschlechterungen und andererseits zu Phasen relativer Beschwerdefreiheit kommen kann (4). Patienten berichten nicht selten über Muskelverspannungen und eine zunehmende Einsteifung des Gelenks, durch die es zu funktionellen Bewegungseinschränkungen (ROM) kommt. Kinematische Untersuchungen zeigten, dass es zu Einbußen in allen Ebenen kommt, wobei dies jedoch vorwiegend die sagittale Ebene betrifft (29). Kontrakte Ligamente, Muskeln und Kapselstrukturen sowie osteophytäre Anbauten oder freie Gelenkkörper verschlechtern die Situation (5). Bei Vorliegen einer posttraumatischen Arthrose berichten die Betroffenen häufig über Krepitationen und Schnappphänomene während des Gehens (42). Die erhöhte mechanische Beanspruchung führt schon in frühen Stadien der Arthrose zu einer Synovialitis. Reaktiv werden dabei proinflammatorische Zytokine (TNF-alpha, Interleukin 1 oder 6) und Proteinase (Metalloproteasen,

Aggrecanasen) in das Gelenk ausgeschüttet. Dies führt schließlich zu der Ausbildung eines Gelenkergusses (7). Um Schmerzen zu minimieren, versuchen Patienten ihr Gangbild entsprechend anzupassen. Je nach Ausmaß der Bewegungseinschränkung, Schmerzen und möglichen Begleiterkrankungen kann dies im Einzelnen variieren (29). Weiterhin werden wetterabhängige Schmerzschwankungen berichtet.

In der Anamnese müssen stets stattgehabte Traumata erfragt werden. Distorsionstraumen am Sprunggelenk werden von den Patienten häufig keine besondere Bedeutung beigemessen und bleiben deshalb nicht selten unerwähnt (4). Besondere Aufmerksamkeit muss Grunderkrankungen aus dem rheumatischen Formenkreis, Diabetes mellitus, Hämochromatose, Gicht, Akromegalie, Hyperparathyreoidismus oder einer Hämophilie geschenkt werden (4, 34). Die Untersuchung sollte am entkleideten Patienten in sitzender, stehender und liegender Position stattfinden. Inspektorisch werden zunächst das Hautkolorit und die Weichteile begutachtet (22). Es wird auch inspiziert ob Beinlängendifferenzen, eine Spitz- oder Hackenfußkomponente vorliegen (22). Neben der Schmerzlokalisierung wird bei der Palpation auch ein grober neurologischer Status erhoben. Die Dokumentation des Gefäßstatus sollte aus diagnostischer- und therapeutischer Sicht immer erfolgen (4). Die Prüfung der aktiven- und passiven Beweglichkeit des Sprunggelenks und der angrenzenden Gelenke erfolgt seitenvergleichend nach der Neutral-Null-Methode. Die Beurteilung des Gangbildes erlaubt Rückschlüsse über die Achsverhältnisse an der gesamten unteren Extremität und kann Hinweise auf weitere Gelenkpathologien geben. (4). So zeigt sich beispielsweise bei zurückliegenden Supinationstraumata, mit chronisch lateraler Instabilität, häufig eine varische Rückfußachse (4).

In fortgeschrittenen Arthrosestadien ist die Anfertigung von Röntgenaufnahmen unter Belastung sowohl aus prognostischer Sicht, als auch im Hinblick auf eine mögliche operative Therapie hilfreich. Der essentielle radiologische Standard beinhaltet eine a.p.- (bzw. Mortise-Aufnahme in 20° Innenrotation), eine laterale-, und eine Saltzman-Aufnahme (5). Anstatt der Saltzman-Aufnahme (hindfoot alignment view) kann die Beurteilung der Rückfußachse auch anhand

des Harris-views (long-axial-view) erfolgen (22, 43). Reilingh et al. konnten in einer 2010 veröffentlichten Arbeit zeigen, dass der Harris-view im Vergleich zur Saltzman-Aufnahme eine höhere Interrater-Reliabilität besitzt (44). In jedem Fall ist das Alignment supramalleolar, intraartikulär und inframalleolar zu analysieren (5). Eine Ganzbeinaufnahme ist bei speziellen Fragestellungen hilfreich sein (4). Basierend auf den Röntgenaufnahmen haben sich mehrere Klassifikationssysteme etabliert. Die meisten Autoren nehmen hierbei eine Einteilung der oberen Sprunggelenksarthrose in 4 Grade vor (Tabelle 4; Abbildung 6-8). Allerdings korreliert der röntgenologische Befund nicht immer mit den Beschwerden des Patienten (35). Die Computertomografie ist für eine detaillierte Beurteilung der Anatomie aufgrund posttraumatischer Veränderungen, Pseudarthrosen und komplexen Deformitäten des Knochens sehr hilfreich (39). Die Magnetresonanztomografie erlaubt neben der Beurteilung von ligamentären- und tendinösen Strukturen auch eine Einschätzung der Beschaffenheit des Gelenkknorpels. Mithilfe unterschiedlicher Protokolle lassen sich die biochemische- und morphologische Zusammensetzung des Knorpels beurteilen. Neuere Methoden wie die SPECT/CT-Technik, T1-rhomapping, T2-mapping liefern noch detailliertere Informationen über die Mikrostruktur und Lokalisation von Knorpeldefekten (6). Die Labordiagnostik spielt in diesem Zusammenhang eine untergeordnete Rolle und wird allenfalls zum Ausschluss von Differentialdiagnosen verwendet (42). Bei unklarer Befundlage kann die diagnostische Injektion eines Lokalanästhetikums unternommen werden, um die Schmerzquelle zu lokalisieren (34). Spiegeltischaufnahmen oder die Pedobarografie können die Belastungsdistribution darstellen (45).

Grad 0	Keine Merkmale einer Arthrose
Grad 1	Zweifelhafte Verengung des Gelenkspalts und mögliche Osteophyten
Grad 2	Mögliche Verengung des Gelenkspalts und sichere Osteophyten
Grad 3	Sichere Verengung des Gelenkspalts, moderate multiple Osteophyten, geringe Sklerose und mögliche Deformierung der Knochenenden
Grad 4	Deutliche Verengung des Gelenkspalts, große Osteophyten, schwere Sklerose und Deformität der Knochenenden

**Tabelle 4:** *Klassifikation der Arthrose am oberen Sprunggelenk nach Kellgren-Lawrence (KL) (46)*



**Abbildung 6:** *Ein gesundes oberes Sprunggelenk, seitlich und a.p (KL Grad 0)*



**Abbildung 7:** Eine posttraumatische Arthrose des oberen Sprunggelenks (KL Grad 4) (seitlich)



**Abbildung 8:** Eine primäre Arthrose des oberen Sprunggelenks (KL Grad 4) (a.p.)

## 2.4 Konservative Therapieoptionen

Abhängig von dem Beschwerdeausmaß stehen verschiedene konservative- und operative Therapieoptionen zur Verfügung. Eine „restitutio ad integrum“ ist bei manifester Arthrose nicht möglich (7). Zunächst werden prädisponierende Faktoren identifiziert, um damit präventiv der Gelenkdeformierung entgegen zu wirken. Dazu gehört beispielsweise die Früherkennung angeborener- oder erworbenen Fehlstellungen (35). Die Therapie der manifesten Arthrose geschieht symptomatisch. Das Ziel besteht in der Reduktion von Schmerzen, einer Verbesserung der Funktion und damit der Lebensqualität der Patienten (7). Im Frühstadium können physikalische-, chiropraktische- und krankengymnastische- Maßnahmen helfen. Unebene Flächen sollten gemieden werden. Orthesen und Schuheinlagen können das Gelenk entlasten und von extern stabilisieren (4, 7). Bei stärkeren Schmerzzuständen ist eine medikamentöse Therapie indiziert. Nichtsteroidale Antiphlogistika (syn. NSAP, NSAR) kommen dabei bevorzugt zum Einsatz (35). Schließlich stellt auch die intraartikuläre Injektion von Kortikosteroiden und Hyaluronsäure eine Therapieoption dar. Eine Abwägung von Nutzen und Risiko muss dabei immer erfolgen (39).



## 2.5 Gelenkerhaltende Verfahren

Sind die Schmerzen durch konservative Maßnahmen nicht mehr zu beherrschen, sollte ein operatives Vorgehen erwogen werden. Die Indikation muss auf Basis der klinischen- und röntgenologischen Untersuchung gründlich geprüft werden (35). Das Patientenalter, mögliche Nebenerkrankungen und weitere individuelle Faktoren müssen bei der Entscheidungsfindung Berücksichtigung finden (39).

Arthroskopisch oder im Rahmen einer Mini-open-Arthrotomie können die Beschwerden durch die Resektion von Osteophyten gelenkerhaltend gelindert werden (4). Weitere Indikationen hierfür sind freie Gelenkkörper oder lokalisierte osteochondrale Läsionen (39). Lokalisierte Knorpelschäden können heute mittels arthroskopischer Techniken erfolgreich adressiert werden. Die Möglichkeiten sind vielfältig. In geeigneten Fällen kann die Mikro- und Nanofrakturierung, der osteochondrale Transfer (OATS) und die autologe matrixassoziierte Knorpeltransplantation (MACT) eingesetzt werden (4). Durch eine supramalleoläre Umstellungsosteotomie lassen sich varische- oder valgische Gelenkinkongruenzen ausgleichen. Die Umstellung in eine mittlere Bewegungsebene verteilt die Belastung gleichmäßig auf alle Gelenkanteile und schont bereits geschädigte Areale (35, 41). Eine weitere Möglichkeit zur Behandlung der oberen Sprunggelenksarthrose stellt die Distraktionsarthrolyse dar. Mithilfe eines externen Fixateurs werden das Gelenk und die umliegenden Kapsel-Bandstrukturen um etwa 1mm pro Tag aufgedehnt. Über die Erfolgsaussichten dieses Verfahrens herrscht derzeit keine Einigkeit (39). Wenn alle gelenkerhaltenden Maßnahmen ausgeschöpft wurden, hat der Patient die Wahl zwischen einer Arthrolyse und einer Prothese. Beide Verfahren sind dem Endstadium der Sprunggelenksarthrose vorbehalten (26).

## 2.6 Die Sprunggelenksarthrodese

Die Arthrodese stellt den derzeitigen Goldstandard in der Therapie einer schmerzhaften- und konservativ austerapierten Sprunggelenksarthrose dar. Unter Aufopferung der Beweglichkeit im oberen Sprunggelenk, wird den Patienten durch dieses Verfahren in vielen Fällen eine schmerzfreie Belastbarkeit und damit die Wiederaufnahme der Mobilität ermöglicht (26, 47). Zudem stellt die Arthrodese eine gute Rückzugsoption nach gescheiterter Sprunggelenksprothese dar (26).

Erstmals wurde die Versteifung eines Gelenks 1877 durch den Innsbrucker Chirurg Eduard Albert (1841-1900) durchgeführt (48). Sein Mitarbeiter Otto Zinsmeister etablierte 1888 den der griechischen Sprache entstammenden Begriff der Arthrodese, der Gelenkbindung. Mit der Entwicklung des Kompressionsfixateurs wurde Mitte des 20. Jahrhunderts von Sir John Charnley ein Meilenstein gelegt (48). Durch dieses Verfahren konnten die Pseudarthroseraten signifikant gesenkt werden. Diesem biomechanischen Prinzip folgend wurden zahlreiche interne- und externe Arthrodesetechniken entwickelt (26, 49). In der Bundesrepublik Deutschland werden derzeit ca. 10.000 OSG-Arthrodesen jährlich durchgeführt (50).

Bevor die Indikation zur Gelenkversteifung gestellt werden kann, muss eine gründliche Untersuchung des Fußes und der gesamten kinematischen Kette der unteren Extremitäten erfolgen. Die Indikationen und Kontraindikationen zur Arthrodese des oberen Sprunggelenks sind in Tabelle 5 und 6 aufgeführt (26, 34).

- Schmerzhafte posttraumatische oder idiopathische Arthrose
- Posttraumatische Fehlstellung, die keine gelenkerhaltende Rekonstruktion erlaubt
- Koinzidente Fußheberlähmung
- Chronische anterolaterale Rotationsinstabilität
- Postinfektiös destruierte Gelenkflächen
- Starke Bewegungseinschränkungen nach Endoprothese (relative Indikation)
- Lockerung einer Endoprothesenkomponente (relative Indikation)
- Ausgeschöpfte konservative Therapieoptionen
- Kombinationen o.g. Befunde

**Tabelle 5:** *Indikationen zur Arthrodesese des OSG*

- Florider Infekt
- Insuffiziente Knochenqualität z. B. durch eine ausgeprägte Osteoporose
- Schlechte Haut- und Weichteilverhältnisse
- Symptomatische- oder subklinisch relevante pAVK
- Charcot-Arthropathie (relative Kontraindikation)
- Chronifiziertes Schmerzsyndrom

**Tabelle 6:** *Kontraindikationen zur Arthrodesese des OSG*

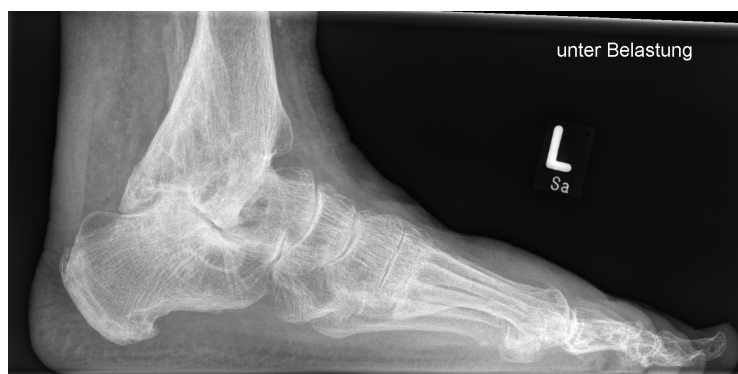
Anhand von Röntgenaufnahmen muss präoperativ eine Planung angefertigt werden. Darin werden der mLDTA (mechanischer lateraler distaler Tibiawinkel), der aADTA (anatomischer anteriorer distaler Tibiawinkel) und der Rückfußwinkel bestimmt. Sind Korrekturen nötig, helfen diese Winkel bei der Bestimmung des Resektionsausmaßes und der Planung einer reorientierenden Arthrodesse mittels kortikospongiösem Span (45). Liegen zusätzlich biomechanisch relevante Fehlstellungen in einem der angrenzenden Gelenke vor, müssen auch diese in die Behandlungsplanung einbezogen werden (49). Idealerweise sollte der Eingriff noch vor dem Entstehen von Anschlussarthrosen durchgeführt werden (51). Prinzipiell gelten junge- und besonders aktive Patienten als ideale Kandidaten für dieses Verfahren (4). Vor der Operation sind die Patienten hinsichtlich der allgemeinen Operationsrisiken, Gefäß- und Nervenläsionen sowie den spezifischen Komplikationen einer Arthrodesse aufzuklären (Tabelle 7). Entsprechend dem Resektionsausmaß, kann es zu einer Beinlängendifferenz kommen, die anschließend durch eine entsprechende Schuhzurichtung ausgeglichen werden kann (Abbildung 11) (52). Nach der Durchführung einer OSG-Arthrodesse ist das Bewegungsausmaß von Plantarflexion und Dorsalextension auf ein- bis zwei Drittel des physiologischen Bewegungsumfanges reduziert. Eine Beinlängendifferenz und/oder ein verminderter Bewegungsumfang in der sagittalen Ebene kann im Verlauf zu Gangasymmetrien, einer verminderten Ganggeschwindigkeit, einer Verkürzung der Schrittlänge und der Einbeinstandphase, sowie einer reduzierten Kraft beim Abstoßen über den Vorfuß in jeweils unterschiedlichem Ausmaß führen. Als vorteilhaft erweisen sich die kalkulierbare Schmerzfreiheit, eine hohe Belastbarkeit und die variablen operativen Zugangsmöglichkeiten (26). Postoperativ muss bis zur Vollbelastung eine Thromboseprophylaxe erfolgen (34). Präoperativ sollte auf eine adäquate Fuß- und Nagelreinigung geachtet werden (34). Der Eingriff kann in Intubationsnarkose, Spinal- oder Periduralanästhesie durchgeführt werden und erfolgt unter fakultativer Verwendung eines Tourniquets (34, 53).

- Pseudarthrose (Abbildung 9)
- Wundheilungsstörungen
- Anschlussarthrosen der Nachbargelenke (Abbildung 10)
- Postoperative Fehlstellungen (Abbildung 11)
- Sepsis
- Ermüdungsbrüche
- Verletzungen der Gefäß- und Nervenbündel
- Schmerzhaftes Neurome

**Tabelle 7:** Häufige Komplikationen nach OSG-Arthrodese (4, 26, 47)



**Abbildung 9:** Pseudarthrose nach OSG-Arthrodese bei bestehender Charcot-Arthropathie (seitlich)



**Abbildung 10:** Anschlussarthrose subtalar (Grad 4) und talonavikular (Grad 2) nach OSG-Arthrodese (seitlich)



**Abbildung 11:** Beinlängendifferenz und hochgradiger Rückfußvalgus nach OSG-Arthrodeese bei schwierigen Weichteil- und Knochenverhältnissen

Ungeachtet der angewandten Arthrodesetechnik, besteht das Ziel darin, die tibio-talare Fusion in plantigrader Stellung umzusetzen. Idealerweise wird eine leichte Dorsalextension von maximal  $5^\circ$  und ein Rückfußvalgus von maximal  $5-8^\circ$  bei leichter Außentorsion angestrebt. Es ist darauf zu achten, dass der Talus in Relation zur physiologischen Unterschenkelachse in der frontalen- und sagittalen Ebene exakt unter der Tibia zentriert wird (4, 26, 34, 51). Wird der Rückfuß varisch eingestellt, kommt es zu einer vermehrten Rückfußinversionsstellung. Dadurch wird das Subtalargelenk medial asymmetrisch belastet und die Chopart-Gelenklinie blockiert (45). Die exakte Einstellung der Arthrodeese ist daher maßgeblich für den Erfolg der Operation. So werden unphysiologische Belastungen in den angrenzenden Gelenken vermieden und der Abrollvorgang erleichtert. In den Fußwurzelgelenken kann ein Teil der verlorengegangenen Beweglichkeit kompensiert werden (4, 26, 34). Die Arthrodeese kann konventionell offen oder arthroskopisch assistiert durchgeführt werden. Letztgenannte Technik kommt insbesondere dann zum Einsatz, wenn nur eine geringe Deformität besteht und potenzielle Achsabweichungen nicht mehr als  $15^\circ$  betragen, da nur begrenzte Korrekturmöglichkeiten bestehen. Vorteile der arthroskopisch assistierten

Arthrodesen (AAA) sind ein geringerer Blutverlust, eine kürzere Klinikverweildauer und reduzierte Wundkomplikationen (47). Vereinzelt wurden auch schnellere Durchbauungszeiten und höhere Fusionsraten beschrieben (52). Der Zugang erfolgt entweder über 2 ventrale Standardportale oder von posterior (4, 54). Zumeist wird jedoch ein offenes Verfahren bevorzugt. Das Sprunggelenk wird dabei von ventral über eine ca. 8-10cm lange Längsinzision mittig eröffnet (Abbildung 12) (34). Je nach Weichteilsituation und Präferenz des Operateurs kann alternativ von medial, lateral oder posterior operiert werden (4). Bereits vorhandene Narben, Weichteilschäden und ggf. zu entfernende Implantate müssen in die Planung des Zugangs einbezogen werden (34). Um eine erfolgreiche Fusion zu erzielen, müssen die Gelenkflächen unter Zuhilfenahme eines Arthrodesenspreizers, Meißeln, scharfen Löffeln und einem Luer zunächst vollständig von verbliebenem Knorpel befreit werden (34). Dabei werden die Gelenkflächen so präpariert, bis es aus dem subchondralen Knochen blutet (52). Um Torsionsfehler zu vermeiden und eine höhere Stabilität zu erzielen, nimmt man heute Abstand von den früher praktizierten Resektionsarthrodesen und versucht stattdessen die Sprunggelenksgabel zu erhalten (34). Im Anschluss erfolgt die exakte Einstellung der Arthrodesen unter Bildwandlerkontrolle (34).



**Abbildung 12:** *Ventraler Zugang zum oberen Sprunggelenk*

Für die endgültige interne Fixation kann der Operateur zwischen Platten, Schrauben oder antero- bzw. retrograd einzubringend Marknägeln wählen. Ein retrograd eingebrachter Nagel führt zwangsläufig auch zu einer Versteifung des unteren Sprunggelenks. Bei schlechter Weichteilsituation, Infekten oder komplexen Korrekturen kommen externe Verfahren wie der Charnley- oder Spindelfixateur zum Einsatz (4, 34). Im Hinblick auf die Stabilität, die Patientenzufriedenheit und die Komplikationsrate haben sich interne gegenüber externen Verfahren durchgesetzt (55). Im Folgenden wird das operative Vorgehen der in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen am häufigsten durchgeführten Arthrodeseverfahren erläutert. Hierzu zählen die Schraubenarthrodese, die retrograde Nagelarthrodese und die Kompressionsarthrodese mit einem Charnley-Fixateur.

### **2.6.1 Schraubenarthrodese**

Die Schraubenarthrodese ermöglicht ein hohes Maß an Stabilität bei relativ geringer Weichteilschädigung. Daher wird dieses Verfahren zur Primärarthrodese des oberen Sprunggelenks am häufigsten eingesetzt (4, 45). Die Möglichkeit zur späteren Konversion mit Implantation einer OSG-Prothese bleibt erhalten, stellt jedoch eher eine Ausnahmesituation dar (51). Der Eingriff erfolgt in Rückenlage. Bei notwendiger Achskorrektur, sollte der Beckenkamm zugänglich sein, um so eine allfällige Spaninterposition zu ermöglichen. Der ventrale Zugang wird bevorzugt, da er dem Operateur einen guten Überblick verschafft und die Sprunggelenksgabel geschont (45). Die Präparation des Gelenks erfolgt in bereits beschriebener Weise. Um einen anterioren Talusversatz zu vermeiden, sollten auch dorsale Osteophyten abgetragen werden (45). Unter Einbringung eines 3mm messenden Kirschner-Drahtes (K-Draht) von plantar, kann die tibio-talare Einstellung temporär fixiert und bildwandlergesteuert kontrolliert werden (34). Besteht eine varische- oder valgische Abweichung, muss diese korrigiert werden (Korrekturarthrodese) (4, 56). Um ein Impingement der Peronealsehnen zu vermeiden, kann infolgedessen eine zusätzliche Verkürzungsosteotomie der Fibula notwendig werden (51, 52).



Zur Fixierung eignen sich 6,5mm oder kanülierte 7,3mm Zugschraubensysteme unterschiedlicher Hersteller (4, 34). In einem Winkel von ca. 10-20° zur Tibiaschaftachse werden zunächst eine mediale und eine laterale Schraube von ventral eingebracht (ventrale Zuggurtung). Hierfür wird der bereits vorhandene Zugang genutzt. Die biomechanisch wichtigste dritte Schraube wird perkutan von dorsomedial eingebracht (dorsale Zuggurtung) (Abbildung 13). Eine vierte Schraube wird ebenfalls perkutan quer vom distalen Außenknöchel aus eingebracht. Die Arthrodese ist jetzt rotations- und translationsstabil. Eine fünfte Schraube wird bei bestehender Syndesmoseinstabilität empfohlen (34). In ausgewählten Fällen kann die Kombination von Schrauben und Plattensystemen sinnvoll sein (4). Abschließend erfolgen die Röntgenkontrolle, eine subtile Blutstillung, die Einlage einer Redondrainage und der schichtgerechte Wundverschluss. Nach Anlage eines sterilen Wattekompressionsverbandes und eines Unterschenkelgipses zur Spitzfußprophylaxe, erfolgt die Lagerung auf einer Volkmann-Schiene (34). Am zweiten Tag nach der Operation wird mit der physiotherapeutischen Nachbehandlung begonnen. Hierzu gehören isometrische Spannungsübungen und die manuelle Mobilisation der Vorfußgelenke (34). Bei Schmerzfreiheit kann der Fuß nach 2-3 Wochen im Arthrodeseestiefel zunehmend belastet werden (45). Wurde eine überbrückende Spongiosaplastik durchgeführt, ist die Anlage eines Unterschenkelgipsverbandes für 6 Wochen unter 20kg Teilbelastung zu empfehlen. Klinische- und radiologische Kontrollen finden 6 und 12 Wochen postoperativ statt (34).



**Abbildung 13:** OSG-Schraubenarthrodese (a.p.)

### 2.6.2 Retrograde Nagelarthrodese

Die retrograde Nagelarthrodese (Syn. Tibiotalkalkaneare Arthrodesese, TTC-Arthrodesese) stellt ein internes Osteosyntheseverfahren zur Arthrodesese des oberen- und unteren Sprunggelenks dar. Dabei wird ein von plantar eingebrachter Marknagel auf Höhe des Kalkaneus und der Tibia verriegelt (53). Das Verfahren kommt insbesondere bei gleichzeitig vorliegender Arthrose des oberen- und unteren Sprunggelenks zum Einsatz. Darüber hinaus findet es bei komplexen Knochenverhältnissen, Talusnekrosen, der Charcot-Marie-Tooth-Erkrankung und nach Komplikationen der OSG-Arthrodesese Anwendung. Fehlstellungen können hierbei adäquat adressiert werden (45, 53).

Der Eingriff erfolgt in Rückenlage. Über einen transfibulären Zugang werden zunächst die Gelenkflächen des oberen- und unteren Sprunggelenks sorgfältig präpariert. Alternativ kann in Bauchlage von posterolateral zugegangen werden (45). Nach der korrekten Ausrichtung der Rückfußachse wird über eine kleine plantare Inzision ein 3,2mm starker Führungsdraht unter röntgenologischer Kontrolle mittig durch die Trochlea tali mindestens 10cm in die Tibia eingebracht (45). Dieser wird im Anschluss entsprechend des vorgesehenen Nageldurchmessers (10-13mm/150mm-240mm) überbohrt. Schließlich wird der Nagel mithilfe eines Zielbügels von plantar eingebracht, bis das distale Ende mit dem Tuber calcanei bündig abschließt. Nun erfolgt die proximale tibiale

Verriegelung. Danach wird die talare Verriegelung durchgeführt, um diese anschließend mit einer Madenschraube zu komprimieren, sodass der tibio-talare Knochenspalt unter Kompression gebracht wird. Abschließend wird auf Höhe des Kalkaneus entlang seiner Längsachse, leicht von dorsomedial nach anterolateral eine 5,0mm Verriegelungsschraube oder Spiralklinge bei Osteoporose eingebracht. Bei bestehender Charcot-Arthropathie kann die Schraube bis in das Os cuboideum eingebracht werden (53). Autologe Spongiosa wird aus dem gewonnenen Bohrmehl bzw. dem dorsalen Beckenkamm zwischen die ehemaligen Gelenkflächen gestößelt (45). Die Fibula wird wieder in ihre ursprüngliche Position reponiert. Das weitere Vorgehen erfolgt äquivalent zur Schraubenarthrodese. Die Patienten erhalten einen geschlossenen Unterschenkelcast und dürfen den Fuß ab dem 3. Tag für 6 Wochen an Unterarmgehstützen mit 20kg teilbelasten (45).

Kommt es im Verlauf zu einer verzögerten Knochenheilung, kann der Nagel durch die Entfernung der beiden proximalen Verriegelungsbolzen in Lokalanästhesie dynamisiert werden (45, 53). Zu den möglichen Komplikationen zählen Ermüdungsbrüche der Tibia proximal des Nagels, die Lockerung des Nagels, sekundäre Dislokationen und Nagelbrüche. Alternativ zur retrograden Nagelarthrodese, lassen sich das obere- und untere Sprunggelenk auch durch einen antegrad eingebrachten Nagel, eine laterale Kondylenplatte oder einen Fixateur externe (s.u.) versteifen (53). Bei allen im Rahmen dieser Studie mit einer Nagelarthrodese versorgten Patienten kam der T2™ Arthrodesenagel der Firma Stryker zum Einsatz. Um einer varischen Rückfußachse und Schäden der lateralen neurovaskulären Strukturen vorzubeugen, weist der Nagel eine valgische Krümmung von 5° auf (Abbildung 14).



**Abbildung 14:** Tibiotalokalkaneare Nagelarthrodese (seitlich)

### 2.6.3 Kompressionsarthrodese mit einem Charnley-Fixateur

Nicht selten kommt es nach offenen Frakturen, operativen Eingriffen, Gelenkpunktionen und aufgrund von internistischen Erkrankungen wie Diabetes mellitus oder peripherer arterieller Verschlusskrankheit zu Infektionen des oberen Sprunggelenks. Als einzig mögliche Therapieoption bleibt dann meist nur noch eine gelenkversteifende Operation. Die Implantation eines Gelenkersatzes ist bei vorliegendem Keimnachweis kontraindiziert (26, 57). Zur Stabilisierung septischer- und nicht septischer Arthrodesen mit komplexen Verläufen sowie bei notwendiger Rearthrodese hat sich der Fixateur externe, insbesondere der Kompressionsfixateur, bewährt (58). Dieser kann unilateral oder bilateral als Rahmenfixateur angelegt werden (57). In diesem Patientenkollektiv wurde ausschließlich der zweidimensionale Charnley-Fixateur mit 4 Steinmannägeln für die Arthrodese des oberen Sprunggelenks eingesetzt (Abbildung 15 und 16).

Um eine adäquate Antibiotikatherapie zu gewährleisten, müssen die Keime präoperativ identifiziert und ihre Resistenzmuster bestimmt werden. Der Hautschnitt wird dem Verlauf bereits bestehender Narben angepasst. Nicht selten sind mehrere Inzisionen notwendig. Die Gelenkflächen des oberen Sprunggelenks werden in Abhängigkeit von dem Gelenkzustand reseziert. Ob dies vor- oder nach der Montage des Fixateurs geschieht, bleibt dem Operateur überlassen. Potenziell infizierte- und avitale Knochenanteile müssen suffizient debridiert werden. Um Pseudarthrosen zu vermeiden ist stets darauf zu achten,

dass die angrenzenden talaren- und tibialen Knochenflächen ausreichend durchblutet sind. Bestehende Haut- und Weichteildefekte müssen im Vorfeld saniert sein. Notwendige plastisch deckende Maßnahmen müssen sorgfältig interdisziplinär geplant werden (57).

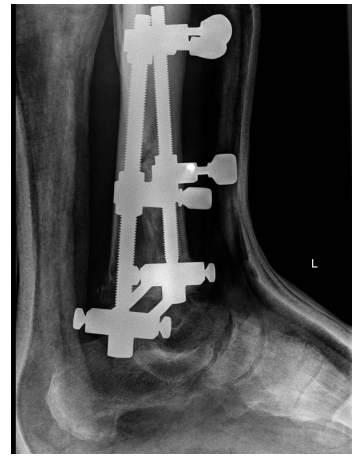
Sofern es die knöchernen Substanz zulässt, werden die Steinmann-Nägel vorzugsweise im Talus verankert. Ist dies nicht suffizient möglich, so muss eine trans-kalkaneare Verankerung mit Überbrückung des USG erfolgen. Zuvor wird jedoch die temporäre Fixierung mit einem plantar eingebrachten K-Draht realisiert. Anschließend wird der erste tibiale Nagel im rechten Winkel zum Unterschenkel platziert. Der Rahmen wird nun leicht unter Kompression gebracht und gleichzeitig die korrekte Stellung der Arthrodesen kontrolliert. In dieser Stellung wird der zweite tibiale Steinmann-Nagel verankert, um die Arthrodesen unter maximale Kompression zu bringen (57).

Die septische Arthrodesen kann ein- oder zweizeitig erfolgen. Bei der zweizeitigen Arthrodesen wird der Arthrodesenspalt zunächst mithilfe des Fixateurs auf etwa 1-2cm distrahiert. Um die Infektsituation zu beherrschen, können Antibiotikaträger wie Septopal eingelegt werden. In einem zweiten Eingriff werden diese wieder entfernt, bestehende Defekte mit Spongiosa aufgefüllt und schließlich die definitive Arthrodesen durchgeführt. Ein Ringfixateur (Ilizarov-Fixateur) eignet sich zur Behandlung komplexer Fehlstellungen oder zur sekundären Unterschenkelverlängerung (57).

Die Patienten werden ab dem 1. postoperativen Tag mobilisiert. Um Pintrack-Infektionen zu vermeiden, müssen die Patienten und Angehörige hinsichtlich der Pinpflege aufgeklärt und angeleitet werden. Gemeinhin erfährt der Fixateur externe deshalb nur eine geringe Akzeptanz (49). Der Fuß darf bei einliegendem Fixateur mit 10-20kg teilbelastet werden. Es folgen Röntgenkontrollen in vierwöchigen Abständen. Bei ausreichender Durchbauung kann der Fixateur nach etwa 12 Wochen postoperativ entfernt werden. Nach orthetischer Versorgung schließt sich die schmerzadaptierte Belastung bis hin zur Vollbelastung an (57).



**Abbildung 15:** OSG-Arthrodesese mit einem Charnley-Fixateur (a.p.)



**Abbildung 16:** OSG-Arthrodesese mit einem Charnley-Fixateur (seitlich)

## 2.7 Die Totalendoprothese des oberen Sprunggelenks

Der endoprothetische Ersatz des OSG wuchs in den vergangenen Jahren zu einer echten Alternative in der Behandlung der Sprunggelenksarthrose heran (26, 49). Der größte Vorteil gegenüber der Arthrodesese liegt in dem Erhalt der Beweglichkeit im oberen Sprunggelenk. Nachdem die Implantationsrate in Deutschland zwischenzeitlich bei 1300 Fällen pro Jahr und höher lag, sind die Zahlen aktuell wieder rückläufig. Verantwortlich hierfür sind die hohe Zahl an Revisionen, die insbesondere durch eine aseptische Lockerung einzelner Prothesenkomponenten nötig werden (59, 60).

Bereits in den 1970er Jahren wurde von Lord und Marotte die erste Endoprothese implantiert (61). Hierfür verwendeten sie ein Hüftprothesenmodell. Der Schaft wurde dabei in die distale Tibia gesteckt, der Talus entfernt und die Pfanne in den Kalkaneus zementiert. Die Ergebnisse waren ernüchternd, sodass man zunächst wieder Abstand von der Endoprothetik am Sprunggelenk nahm (34). Dennoch wurden in den Folgejahren zahlreiche Sprunggelenkendoprothesen auf den Markt gebracht. Die Prothesen der ersten Stunde bestanden aus zwei Komponenten, einem tibialen Polyethylenenteil und einem talaren Kobaltchromimplantat. Die

Notwendigkeit zur Zementierung, ein hoher Polyethylenabrieb und nicht zuletzt ihr wenig anatomisches Design führten auf Dauer zu Osteolysen und hohen Lockerungsraten (34). In den 1990er Jahren begann man zu verstehen, dass die biomechanischen Eigenschaften des Sprunggelenks ein Prothesendesign erfordern, dass den enormen Rotationskräften während des Bewegungsablaufs unter gleichzeitigem Erhalt der Stabilität standhält (49). Mit der Prothesenentwicklung zur 2. und 3. Generation konnten die Standzeiten erheblich verbessert werden (26, 62).

Heute sind mehr als 40 verschiedene Prothesentypen erhältlich, ein Standard hat sich bislang nicht etabliert (34). Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Anzahl der Komponenten (2 oder 3), der Verankerung (zementiert/unzementiert), der Mobilität des Inlays (mobile oder fixed-bearing), der Kongruenz und der Führung des Gelenks (constrained, semi-constrained, unconstrained).

Grundsätzlich haben sich zwei Design-Typen durchgesetzt: Das Zweikomponentendesign, bestehend aus einer zementfrei verankerten tibialen- und talaren Komponente (fixed-bearing), die ein gewisses Maß an Gleit- und/oder Rotationsbewegung zulassen (bsp. AGILITY™ von der Fa. Depuy Synthes). Sowie das Dreikomponentendesign, bestehend aus einer flachen Platte tibial, einer aus Metall bestehenden Talusoberfläche und einem mobilen Polyethyleninlay (mobile-bearing) zwischen den beiden Metallkomponenten (bsp. HINTEGRA® von der Fa. Smith & Nephew) (34). Gegenwärtige Prothesenmodelle werden knöchern integriert. Das hat zunächst den Vorteil, dass die bei der Aushärtung des Zements ablaufende exothermische Reaktion ausbleibt. Dadurch werden die Knochen-Implantantgrenze und die Weichteile geschont (26, 49). Eine mögliche Zementluxation und damit verbundene Rezidiveingriffe können vorgebeugt werden. Die metallischen Anteile sind stattdessen meist mit Calciumhydroxylapatit und einem porösen Mantel überzogen. Dies ermöglicht eine schnelle knöcherne Integration und führt langfristig zu einer höheren Stabilität. (49, 61) (Tabelle 8).

Einige Autoren kritisieren die Verankerungstechnik der Tibiakomponente mancher Prothesentypen. Die zapfen- oder finnenförmigen Stämme machen

eine zentrale Osteotomie an der Tibia notwendig, wodurch die Kortikalis geschwächt wird (z. B. Mobility™ von der Fa. Depuy Synthes). Andere Modelle wie z. B. die HINTEGRA® (Abbildung 17) werden ohne ventrale Knochenfenster der Tibia implantiert und können optional mithilfe zweier Schrauben fixiert werden (61). In biomechanischen Studien konnte gezeigt werden, dass die Knochenfestigkeit der Tibia im Vergleich zu der des Talus, insbesondere im anterolateralen Bereich des Pylons niedriger ist. Um einen Einbruch der tibialen Komponente zu vermeiden, sollten valgische Fehlstellungen daher vor der Prothesenimplantation ausgeglichen werden (34). Die Form der Taluskomponente variiert bei den verschiedenen Prothesenmodellen ebenfalls. So findet man zylindrische- oder kondylenförmige Komponenten auf dem Markt (61). Idealerweise überdeckt die Komponente den Talusdom möglichst vollständig (34). Um ein optimales Bewegungsausmaß zu ermöglichen, darf sie weder zu weit vorne, noch zu weit hinten platziert werden. Eine nicht anatomische Implantation der Prothese, kann zu Überlastungen des Bandapparates führen. Häufige Folgen sind chronische Schmerzzustände oder aber die Entstehung osteophytärer Anbauten. Auch um die Krafteinwirkungen im Randbereich der Prothese (edge loading) so gering wie möglich zu halten, sind Prothesen mit mobilem Inlay auf einen intakten Kapsel-Band-Apparat und ausreichend große Kontaktflächen zwischen den Komponenten angewiesen. Werden diese Punkte außer Acht gelassen, kann sich die Prothese lockern und schließlich dislozieren (34). Um die Möglichkeit einer Rückzugsarthrodese zu erhalten, muss die Knochenresektion auf ein Minimum beschränkt bleiben (34, 61). Kommt es zu Anschlussarthrosen in den angrenzenden Gelenken, können diese je nach Ausprägung einzeitig oder zweizeitig versteift werden. Wie auch bei der Arthrodese müssen die Achsverhältnisse der gesamten unteren Extremität beurteilt und bei ausgeprägten Abweichungen korrigiert werden (34).



Modell	Typ des Inlays
S.T.A.R® (1986)	mobil
Buechel-Pappas® (1989)	mobil
SALTO® (1998)	mobil
RAMSES® (1998)	mobil
A.E.S® (1998)	mobil
HINTEGRA® (2000)	mobil
MOBILITY™ (2004)	mobil

**Tabelle 8:** Häufig verwendete Dreikomponentenprothesen (34)



**Abbildung 17:** HINTEGRA® (Fa. Smith & Nephew) OSG-TEP

Bei einer symptomatischen Arthrose des oberen Sprunggelenks besteht gleichermaßen die Indikation zur Arthrodesis oder Endoprothese. Bezüglich der genauen Indikationsstellung zur Endoprothese gehen die Meinungen auseinander. Lange Zeit wurden ältere Patienten mit einem geringeren Anspruch an sportlicher Betätigung, Patienten mit rheumatischen Erkrankungen, Fälle ohne höhergradige Fehlstellungen und Instabilitäten, Patienten mit einer guten Ausgangsbeweglichkeit oder mit bereits bestehenden

Anschlussarthrosen als gute Kandidaten für den Gelenkersatz erachtet (26, 49). Heute werden zunehmend jüngere Patienten mit höherem Aktivitätsanspruch prothetisch versorgt (34). Die absoluten- und relativen Kontraindikationen für eine Prothese sind in Tabelle 9 aufgeführt (26, 34, 45, 61).

- Fehlende Erfahrung mit der Operationstechnik (absolut)
- Fortgeschrittene Angiopathie mit oder ohne Diabetes mellitus (absolut)
- Akute Infektionen oder Hautulzerationen (absolut)
- Schlechte Knochenqualität z. B. durch Zysten, Osteoporose, traumatischer Knochenverlust, Talusnekrose (absolut)
- Fußdeformitäten und nicht korrigierbare Fehlstellungen (relativ)
- Charcot-Arthropathie (relativ)
- Höhergradige muskuläre Insuffizienzen (relativ)
- Schlechter Bewegungsumfang (relativ)
- Körperliche schwere Arbeit (relativ)

**Tabelle 9:** Absolute und relative Kontraindikationen zur OSG-TEP

Der Erfolg einer Prothese ist maßgeblich von der Sorgfalt der präoperativen Planung abhängig. Besondere Aufmerksamkeit muss dabei den Weichteilverhältnissen, vorhandenen Fußdeformitäten, der Durchblutung und der Sensibilität geschenkt werden. Es muss evaluiert werden, ob die bestehenden Schmerzen tatsächlich dem typischen periartikulären Arthroseschmerz entsprechen. Weichteilige- oder neuralgiforme Schmerzen werden durch die Implantation einer Prothese nicht beseitigt, können aber durch eine Adhäsiolyse oder Neurolyse behandelt werden (34). So kann unter Umständen ein gelenkerhaltendes Verfahren ausreichend sein um die Schmerzen zu beseitigen, insbesondere dann, wenn die klinischen- und

radiologischen Befunde nicht miteinander korrelieren. Die exakte Planung der Operation erfolgt anhand von Röntgenaufnahmen. Darauf werden alle relevanten Fehlstellungen und Achsbeziehungen erfasst und in das weitere Vorgehen einbezogen (34). Auf eine detaillierte Ausführung der Röntgenparameter wird an dieser Stelle verzichtet. Wie auch bei der Arthrodesese ist eine gründliche Aufklärung der Patienten bezüglich der möglichen Komplikationen (Tabelle 10), alternativen Behandlungsmöglichkeiten, dem Umfang der Rehabilitationsphase und der Arbeitsunfähigkeitsdauer nötig (34, 49). Die Patienten müssen sich darüber bewusst sein, dass sie ihre Lebensgewohnheiten anpassen müssen. Dauerbelastungen und Kontaktsportarten sollten bei einliegender Prothese vermieden werden (34).

### **Operationstechnik**

Der Eingriff erfolgt in Rückenlage unter fakultativer Verwendung einer Oberschenkelblutsperre. Unter schonender Präparation der Weichteile, wird das Gelenk dargestellt. Bei den gängigen Prothesentypen wird das Sprunggelenk von ventral, zwischen den Sehnen des M. tibialis anterior und M. extensor hallucis longus eröffnet. Osteophytäre Anbauten der Tibia und des Talus müssen abgetragen werden (34). Im Anschluss daran wird die tibiale Resektionsschablone montiert, deren Ausrichtung sich an dem Ganzbeinalignment orientiert. Neben der Ausrichtung in der sagittalen Ebene, muss auch die mediolaterale Translation und Rotation berücksichtigt werden (45). Das Resektionsausmaß richtet sich nach der Dicke der tibialen- und talaren Komponente sowie dem verwendeten Inlay. Um die Kortikalis nicht unnötig zu schwächen, sollte hier sparsam gearbeitet werden. Die Resektion erfolgt tibial unter einem posterioren Slope von 4-7° (34). Um eine iatrogene Fraktur des medialen Malleolus zu vermeiden, muss die Resektion in diesem Bereich besonders vorsichtig und ggf. sogar manuell erfolgen. Die Resektion des Talus erfolgt unter Nutzung von Sägeschablonen und einer Fräse für den Talushals. Im Anschluss können die Probekomponenten eingebracht und unter Prüfung der Bandspannung über eine mögliche Nachresektionen entschieden werden (34). Die Beweglichkeit im oberen Sprunggelenk kann durch eine

dorsale Adhäsiolyse, eine perkutane Achillotenotomie oder einen Gastrocnemius-Slide zusätzlich verbessert werden. Um mechanische Konflikte zu vermeiden, wird das Gelenk nach dem Entfernen der Probekomponenten gründlich gespült. Liegt nun beidseitig ein sauberes, planes und gut perfundiertes Prothesenlager vor, können die Prothesenkomponenten eingebracht und fakultativ mit Spongiosa unterfüttert werden. Es folgt ein schichtweiser Wundverschluss unter Einlage einer Redondrainage (34). Bei allen im Rahmen dieser Studie mit einer Sprunggelenksprothese versorgten Patienten kam das Modell Mobility™ der Fa. Depuy Synthes zum Einsatz. Ein Modell, das gemeinsam mit den Fuß- und Sprunggelenkschirurgen Chris Coetze, Pascal Rippstein und Paul Wood entwickelt wurde und seit Oktober 2004 erhältlich ist (Abbildung 18 und 19).



**Abbildung 18:** Talare- (oben) und tibiale (unten) Komponente der MOBILITY™ (Fa. Depuy Synthes) OSG-TEP



**Abbildung 19:** Seitliche Ansicht einer implantierten MOBILITY™ (Fa. Depuy Synthes) OSG-TEP

Nach erfolgreicher Operation und Wundkonditionierung wird der Fuß für 6 Wochen in einem VACO®ped-Stiefel teilbelastet. Begleitend erfolgen physiotherapeutische Maßnahmen. Nach der 6. postoperativen Woche wird die Belastung um 20kg pro Woche zunehmend bis zum Erreichen der Vollbelastung gesteigert. Tabelle 10 gibt einen Überblick über häufige Komplikationen im Anschluss an die Implantation einer Sprunggelenksprothese (26, 34, 60).

- Zystenförmige Osteolysen (Abbildung 20)
- Heterotope Ossifikationen (Abbildung 21)
- Aseptische/septische Lockerung oder Sinterung (Abbildung 22)
- Bruch/Abrieb des Inlays (Abbildung 23)
- Technische Fehler (z. B. Fehlpositionierung der Komponenten)
- Intraoperative Frakturen (insb. Malleolus medialis und lateralis) (Abbildung 24)
- Infekt
- Anschlussarthrose
- Persistierende Schmerzen
- Impingement
- Wundheilungsstörungen
- Bewegungseinschränkungen und Kontrakturen
- Inlaydislokation
- Gefäß- und Nervenverletzungen

**Tabelle 10:** Häufige Komplikationen nach der Implantation einer OSG-TEP (26, 34, 60)



**Abbildung 20:** *Periprothetische Osteolyse tibial*



**Abbildung 21:** *Heterotope Ossifikationen bds. Tibial, Zyste talar*



**Abbildung 22:** *Aseptische Lockerung der tibialen Prothesenkomponente*



**Abbildung 23:** *Zentraler Abrieb des PE-Inlays*



**Abbildung 24:** *Z.n. intraoperativer Innenknöchelfraktur*

## 3. Material und Methoden

### 3.1 Studiendesign

Es handelt sich um eine retrospektive, monozentrische Studie. Die nachzuuntersuchenden Patienten wurden auf zwei Gruppen aufgeteilt: Primäre Arthrodesen und Primäre Prothesen des oberen Sprunggelenks. Zusätzlich wurde eine Subgruppenanalyse derer Patienten, die mit einer Arthrodesen des oberen- und unteren Sprunggelenks versorgt wurden durchgeführt. Durch das retrospektive Untersuchungsvorhaben sollte auf der Grundlage anamnestischer-, klinischer- und radiologischer Parameter identifiziert werden, welches Operationsverfahren ein besseres mittel- bis langfristiges Ergebnis erlaubt. Im Speziellen sollten dabei die folgenden Fragen aufgearbeitet werden:

- Gibt es Unterschiede hinsichtlich der erzielten Ergebnisse im AOFAS-Score?
- Kann durch die Prothesenimplantation die Inzidenz der Anschlussarthrose reduziert werden?
- Inwiefern korreliert das klinische- mit dem radiologischen Outcome?

### 3.2 Ein- und Ausschlusskriterien

#### **Einschlusskriterien**

- Alle Patienten, die eine OSG- oder OSG+USG Arthrose entwickelt haben und primär mit einer Arthrodesen oder Totalendoprothese versorgt wurden.
- Nur einwilligungsfähige Patienten, die sich freiwillig dieser Nachuntersuchung unterziehen wollten. Die Einwilligung wurde schriftlich auf dem Aufklärungsbogen dokumentiert. Dieser kann der Anlage entnommen werden.
- Nachuntersuchungszeitraum > 6 Monate

#### **Ausschlusskriterien**

- Patienten die das 18. Lebensjahr zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht vollendet hatten.
- Bettlägerige Patienten
- Vorangegangene Arthrodesen oder Prothesen am gleichen Fuß
- Patienten mit eingeschränkter kognitiver Funktion.

Alle Krankenakten und zuvor angefertigte Röntgenaufnahmen standen zur Einsicht zur Verfügung.

#### **3.3 Patientenkollektiv**

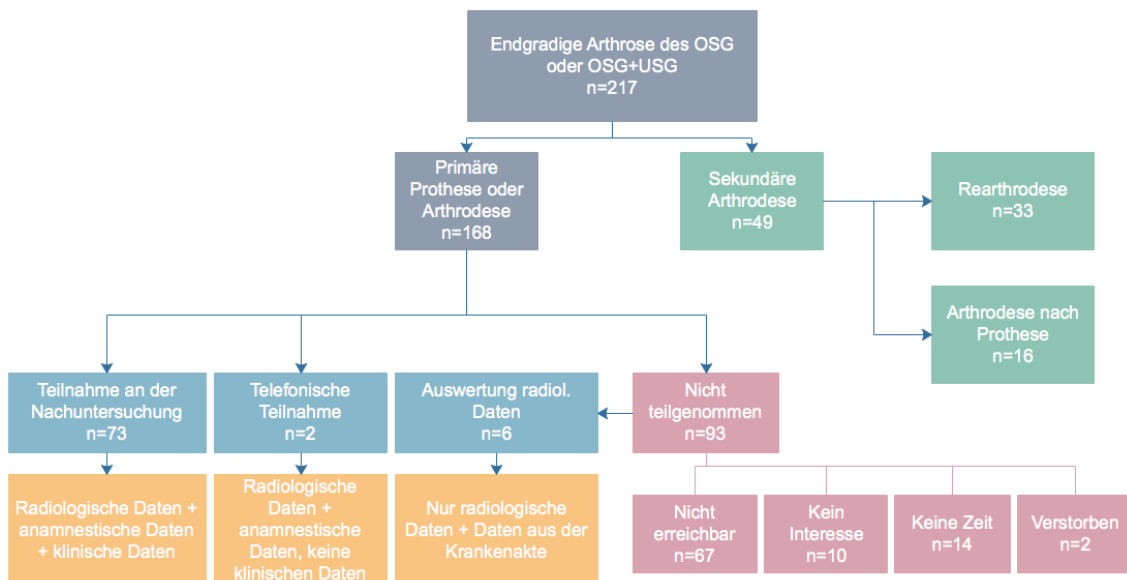
Von 2008 bis 2015 wurden in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen 217 Patienten mit einer konservativ austherapierten Arthrose des oberen- oder des oberen- und unteren Sprunggelenks operativ versorgt. 168 Patienten (77,4%) wurden primär mit einer Arthrodesen (n=119, 54,8%) oder einer Totalendoprothese (n=49, 22,6%) versorgt. Davon konnten 75 Patienten (44,7%) für das Studienvorhaben gewonnen werden. 73 Patienten (43,5%) fanden sich zu einer klinisch-radiologischen Nachuntersuchung ein. 2 Patienten (1,2%) konnten telefonisch befragt werden.

93 Patienten (55,4%) konnten nicht einbezogen werden (73 primäre Arthrodesen, 20 primäre Prothesen). Hiervon konnten 67 Patienten (39,9%) weder telefonisch noch postalisch erreicht werden. In einem solchen Fall, wurden mindestens 3 weitere telefonische Kontaktversuche unternommen bis das der Patient von der Studie ausgeschlossen wurde. 10 Patienten (6,0%) gaben an kein Interesse und 14 Patienten (8,3%) gaben an keine Zeit für eine Teilnahme zu haben. 2 Patienten (1,2%) waren zum Zeitpunkt der Kontaktaufnahme bereits verstorben. Um die Patientenzahl zu erhöhen, wurden auch röntgenologische Daten derer Patienten, die postoperativ im Rahmen der allgemeinen Nachuntersuchung vorstellig geworden sind ausgewertet und unter einem Pseudonym in die Auswertung einbezogen. Dies gelang bei 6 Patienten (3,6%), sodass die Patientenanzahl von 75 auf 81 Patienten (48,2%) erhöht werden konnte. Bei den verbleibenden 87 nicht teilnehmenden Patienten



(51,8%) reichten die vorhandenen röntgenologischen Daten nicht aus, um das Operationsergebnis adäquat beurteilen zu können.

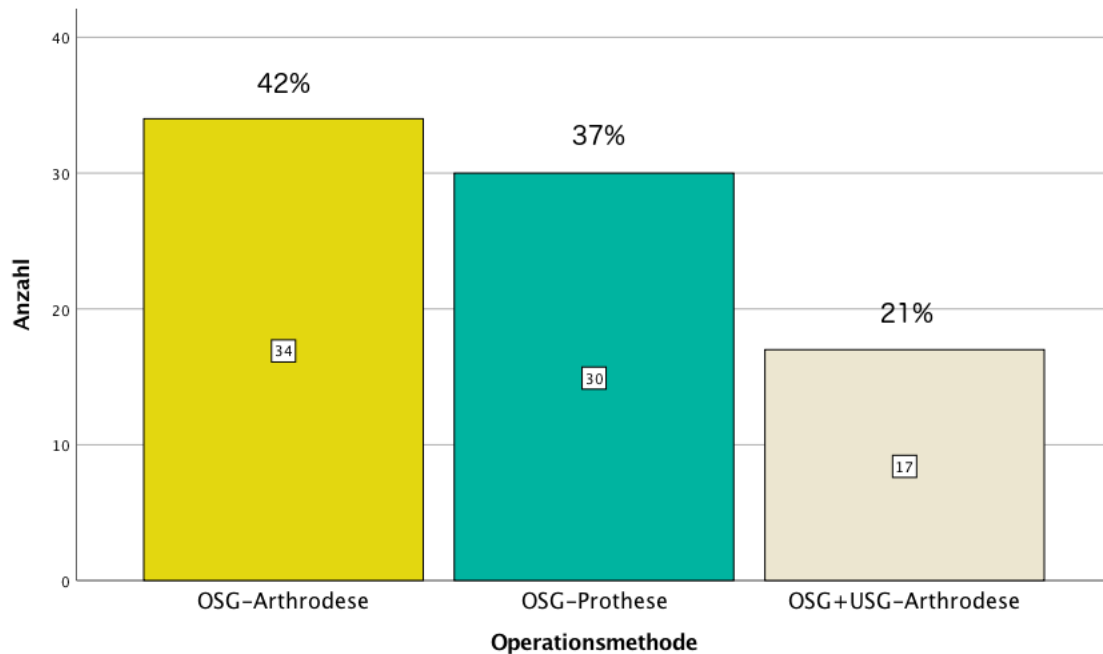
49 Patienten (22,6%) wurden sekundär mit einer Arthrodeese versorgt, entweder im Rahmen einer Rearthrodeese nach gescheiterter Arthrodeese (n=33, 15,2%) oder einer Rückzugsarthrodeese nach gescheiterter Prothese (n=16, 7,4%). Eine Auswertung dieser Daten ist im Rahmen einer separaten Publikation geplant (Abbildung 25).



**Abbildung 25:** *Patientenkollektiv und erhobene Daten*

### Patientengruppen

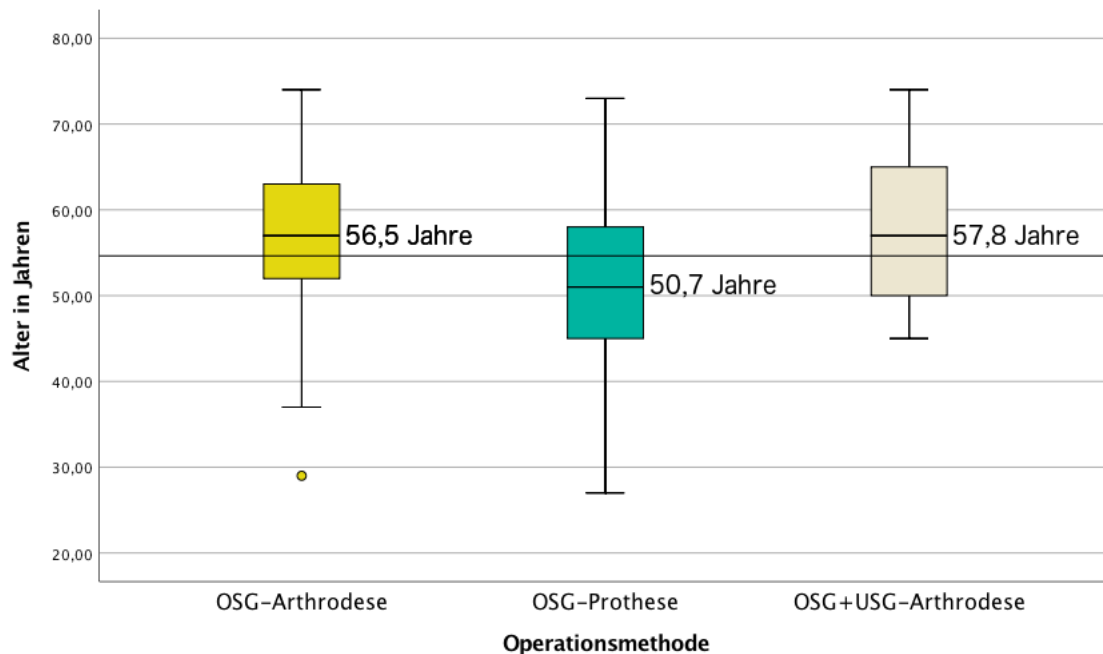
Schließlich konnten Daten von insgesamt 81 Patienten (48,2%) ausgewertet werden. Davon wurden 34 Patienten (42%) mit einer Arthrodeese des oberen Sprunggelenks, 30 Patienten (37%) mit einer Prothese des oberen Sprunggelenks und 17 Patienten (21%) mit einer Arthrodeese des oberen- und unteren Sprunggelenks versorgt (Abbildung 26).



**Abbildung 26:** Häufigkeitsverteilung der Patienten ( $n=81$ ) auf die einzelnen Gruppen

Das Patientenkollektiv bestand aus 52 Männern (64,2%) und 29 Frauen (35,8%). Ein  $\chi^2$ -Test wurde durchgeführt. Hinsichtlich des Geschlechts unterschieden sich die Gruppen nicht signifikant voneinander ( $p=0,992$ ). Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Operation betrug 54,6 Jahre ( $SD \pm 11,0$ ; 27 – 74 Jahre). Patienten die mit einer OSG-Arthrodese versorgt wurden, waren im Mittel 56,5 Jahre ( $SD \pm 10,21$ ; 29 – 74 Jahre), Patienten die mit einer OSG-Prothese versorgt wurden 50,7 Jahre ( $SD \pm 11,65$ ; 27 – 73 Jahre) und Patienten die mit einer OSG+USG-Arthrodese versorgt wurden 57,8 Jahre ( $SD \pm 9,89$ ; 45 – 74 Jahre) alt. Eine Überprüfung mit dem Shapiro-Wilk-Test ergab, dass die Alterswerte in allen 3 Gruppen normalverteilt waren. Es gab 1 Ausreißer in der Gruppe der OSG-Arthrodesen. Die Überprüfung der Varianzhomogenität erfolgte mit dem Levene-Test, gemäß dem eine Gleichheit der Varianzen anzunehmen war ( $p=0,756$ ). Es wurde eine einfaktorische Varianzanalyse durchgeführt. Demnach bestand ein signifikanter Altersunterschied zwischen den Gruppen  $F(2,78) = 3,31$ ,  $p=0,042$  (Abbildung

27). Im nachfolgend durchgeführten Tukey-Test konnten jedoch keine statistisch signifikanten Gruppenunterschiede festgestellt werden.

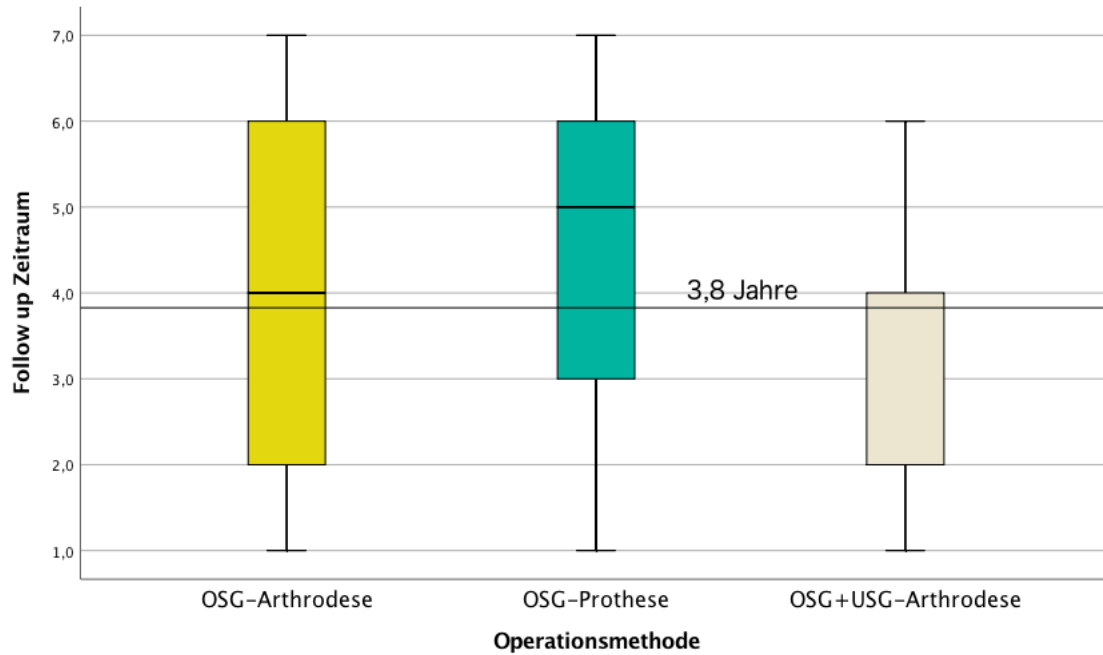


**Abbildung 27:** Durchschnittliches Alter zum Zeitpunkt der Operation

### Follow-up-Zeitraum

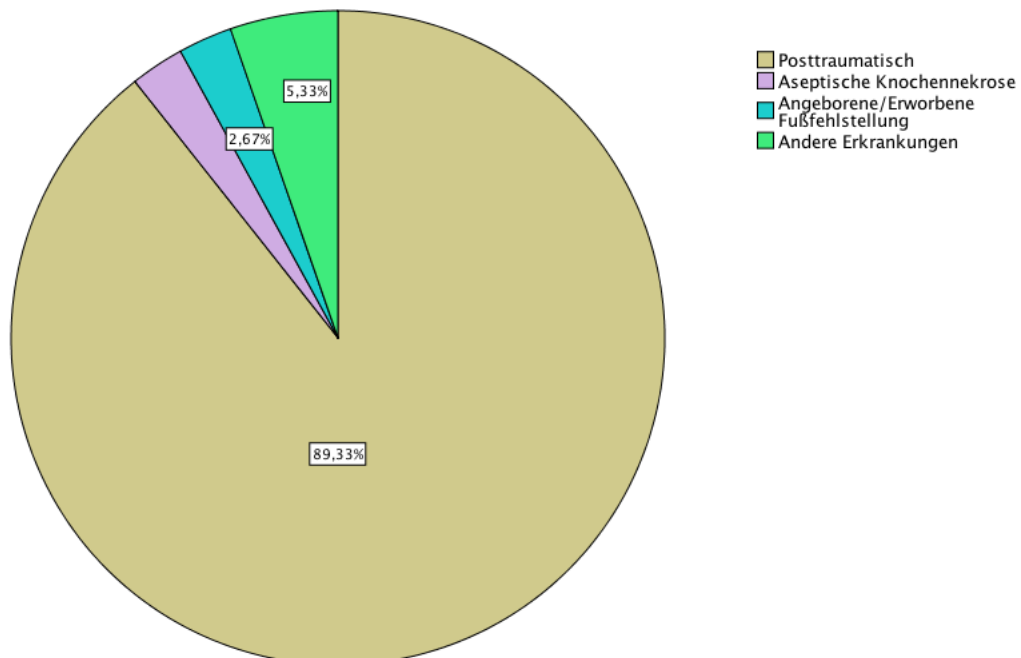
Der mittlere Follow-up-Zeitraum aller Patienten betrug 3,8 Jahre (SD  $\pm$  1,9; 1 – 7 Jahre). Patienten mit einer OSG-Arthrodesis wurden im Mittel 3,7 Jahre (SD  $\pm$  2,0; 1 – 7 Jahre), Patienten mit einer OSG-Prothese 4,5 Jahre (SD  $\pm$  1,6; 1 – 7 Jahre) und Patienten mit einer OSG+USG-Arthrodesis 2,9 Jahre (SD  $\pm$  1,7; 1 – 6 Jahre) postoperativ nachuntersucht. Es mussten keine Patienten aufgrund eines zu kurzen Abstandes (<6 Monate) zum Operationsdatum ausgeschlossen werden. Der Follow-up-Zeitraum entsprach gleichzeitig der Standzeit einer Prothese. Eine Überprüfung mit dem Shapiro-Wilk-Test ergab, dass die Follow-up-Werte innerhalb der Gruppe OSG-Prothese normalverteilt waren, nicht jedoch innerhalb der Gruppen OSG-Arthrodesis und OSG+USG Arthrodesis. Varianzhomogenität war gemäß dem Levene-Test nicht gegeben ( $p=0,022$ ). Zwischen den Gruppen bestand ein signifikanter Unterschied (Welch-Test

$F(2,43.09) = 4.88, p=0,012$ ). Der Games-Howell post-hoc Test zeigte einen signifikanten Unterschied der Follow-up Zeiträume zwischen den Gruppen OSG-Prothese und OSG+USG-Arthrodeese ( $p=0,011$ ) (Abbildung 28).

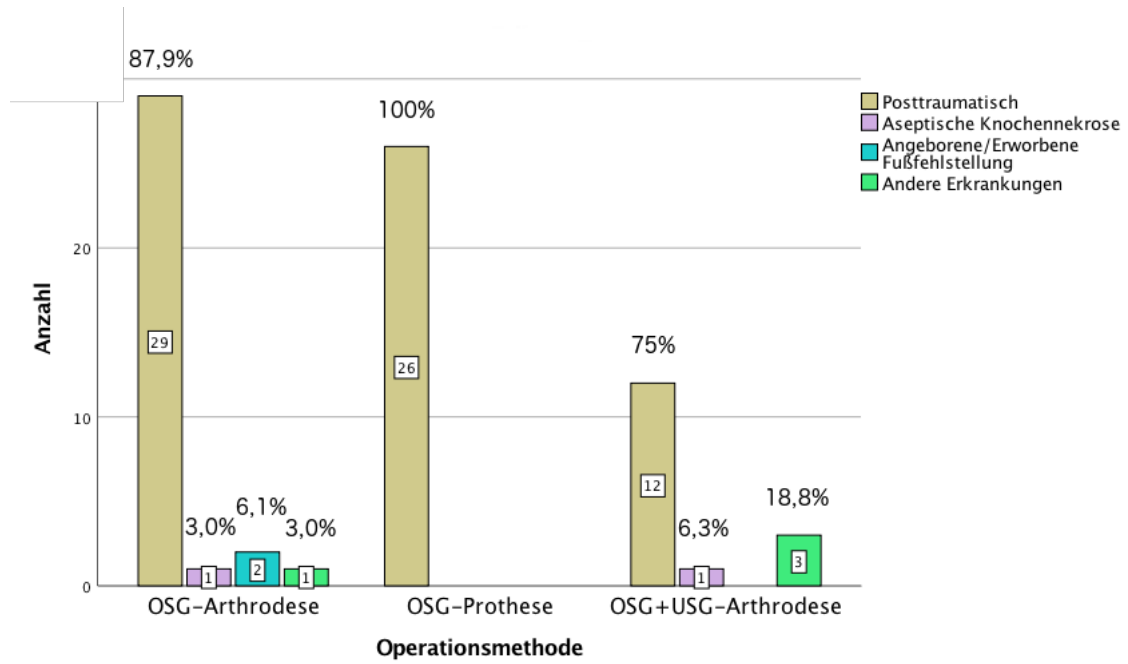


**Abbildung 28:** *Follow-up-Zeitraum der einzelnen Gruppen in Jahren*

40 Patienten (49,4%) wurden am rechten und 41 Patienten (50,6%) am linken Sprunggelenk operiert. Bei 6 Patienten (7,4%) wurde präoperativ eine primäre Arthrose, bei 75 Patienten (92,6%) eine sekundäre Arthrose diagnostiziert. Ein  $\chi^2$ -Test wurde durchgeführt. Es bestand diesbezüglich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ( $p=0,299$ ). Die Entstehung einer sekundären Arthrose konnte bei 67 Patienten (89,3%) auf ein traumatisches Ereignis zurückgeführt werden. Bei 2 Patienten (2,7%) wurde eine aseptische Knochennekrose des Talus oder der Tibia diagnostiziert. Weitere 2 Patienten (2,7%) litten unter einer angeborenen- oder erworbenen Fußfehlstellung und bei 4 Patienten (5,3%) wurden andere Erkrankungen für die Entstehung der Arthrose identifiziert (Abbildung 29). Bezüglich der Ursachenhäufigkeit einer sekundären Arthrose unterschieden sich die Gruppen OSG-Prothese und OSG+USG-Arthrodeese ( $p=0,016$ ) statistisch signifikant voneinander (Abbildung 30).



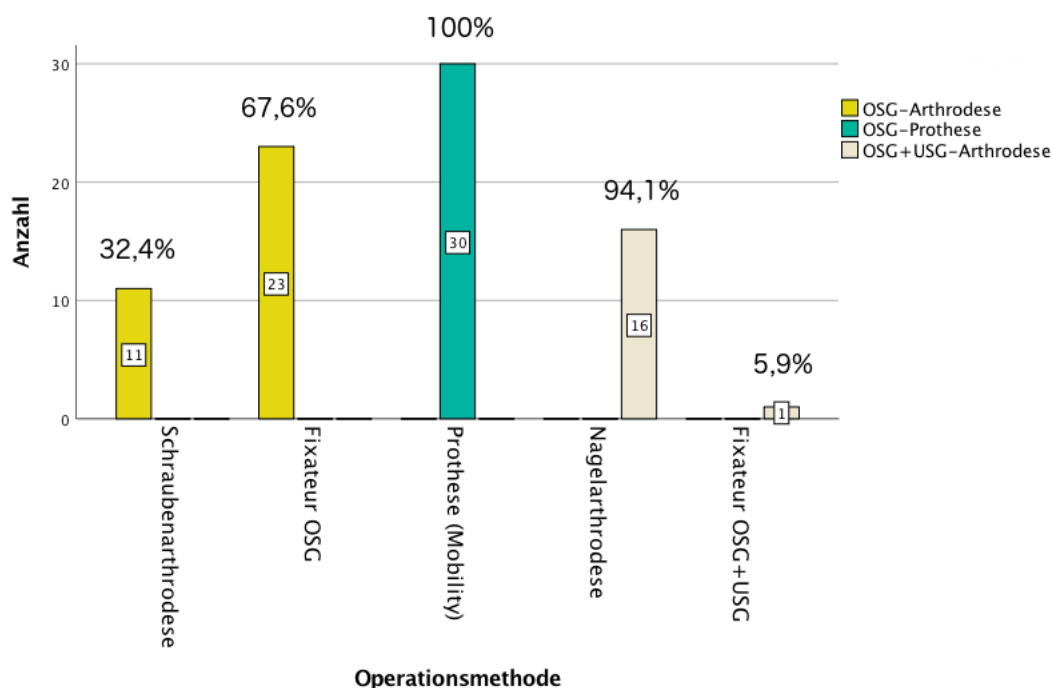
**Abbildung 29:** Häufigkeitsverteilung der Ursachen einer sekundären Arthrose ( $n=75$ ) insgesamt



**Abbildung 30:** Häufigkeitsverteilung der Ursachen einer sekundären Arthrose (n=75) innerhalb der einzelnen Gruppen

### Operationsmethode

Eine OSG-Arthrodeuse wurde bei 11 Patienten (32,4%) als Schraubenarthrodeuse und bei 23 Patienten (67,6%) mit einem externen Fixateur durchgeführt. Für alle 30 OSG-Prothesen (100%) wurde die MOBILITY™ der Fa. Depuy Synthes verwendet. Eine OSG+USG-Arthrodeuse wurde bei 16 Patienten (94,1%) als retrograde Nagelarthrodeuse und bei 1 Patienten (5,9%) mit einem externen Fixateur durchgeführt (Abbildung 31).



**Abbildung 31:** Häufigkeitsverteilung der einzelnen Operationsmethoden (n=81)

### Operateure

Zwischen den Jahren 2008 und 2015 haben insgesamt 21 verschiedene Operateure primäre Arthrodesen an der BG Unfallklinik Tübingen durchgeführt. Die Implantation einer OSG-Prothese wurde nur von 2 Operateuren durchgeführt: Die Häufigkeitsverteilung betrug jeweils 12 (40%) und 18 (60%) der nachuntersuchten Patienten (n=30).

#### **Voroperationen**

**OSG-Arthrodesen:** Bei 1 Patienten (2,9%) wurde präoperativ eine Korrekturosteotomie des distalen Unterschenkels durchgeführt. 1 weiterer Patient (2,9%) hatte bereits eine Tripelarthrodesen (subtalar + talonavikular + kalkaneokuboidal).

**OSG-Prothese:** 2 Patienten (6,7%) wurden zuvor bereits im unteren Sprunggelenk versteift.

**OSG+USG Arthrodesen:** Bei 1 Patienten (5,8%) wurde im Vorfeld eine Talonavikulargelenksarthrodesen durchgeführt.

#### **Intraoperative Komplikationen**

Während der Prothesenimplantation kam es intraoperativ bei 2 Patienten (6,7%) zu einer versorgungspflichtigen Fraktur des Innenknöchels und bei 1 Patienten (3,3%) zu einer Fraktur des Außenknöchels.

#### **Revisionseingriffe durch perioperative Komplikationen**

Insgesamt musste bei 18 Patienten (22,2%) ein Revisionseingriff erfolgen.

**OSG-Arthrodesen:** 7 Patienten (20,6%) mit einer OSG-Arthrodesen mussten revidiert werden. 2 Patienten (5,9%) mit einer OSG-Schraubenarthrodesen wurden aufgrund einer Implantatfehlage revidiert. In 5 Fällen (14,7%) nach OSG-Arthrodesen mit einem Fixateur externe musste revidiert werden, wobei in 4 Fällen (11,8%) eine Infektsituation und in 1 Fall (2,9%) persistierende Schmerzen ursächlich waren. **OSG-Prothesen:** 8 Patienten (26,7%) mussten revidiert werden. 4 (13,3%) von ihnen aufgrund einer Infektsituation und 4 (13,3%) aufgrund von Bewegungseinschränkungen. **OSG+USG-Arthrodesen:** 3 Patienten nach Nagelarthrodesen (17,6%) mussten revidiert werden. 2 (11,8%) aufgrund eines Infektes und 1 (5,9%) wegen einer Fehllage der proximalen Verriegelungsschrauben (Abbildung 32). Hinsichtlich der Revisionshäufigkeit unterschieden sich die Gruppen nicht signifikant voneinander ( $p=0,740$ ) (Abbildung 32 und 33). Bei keinem der Patienten (0%) bestand präoperativ ein florider Infekt.



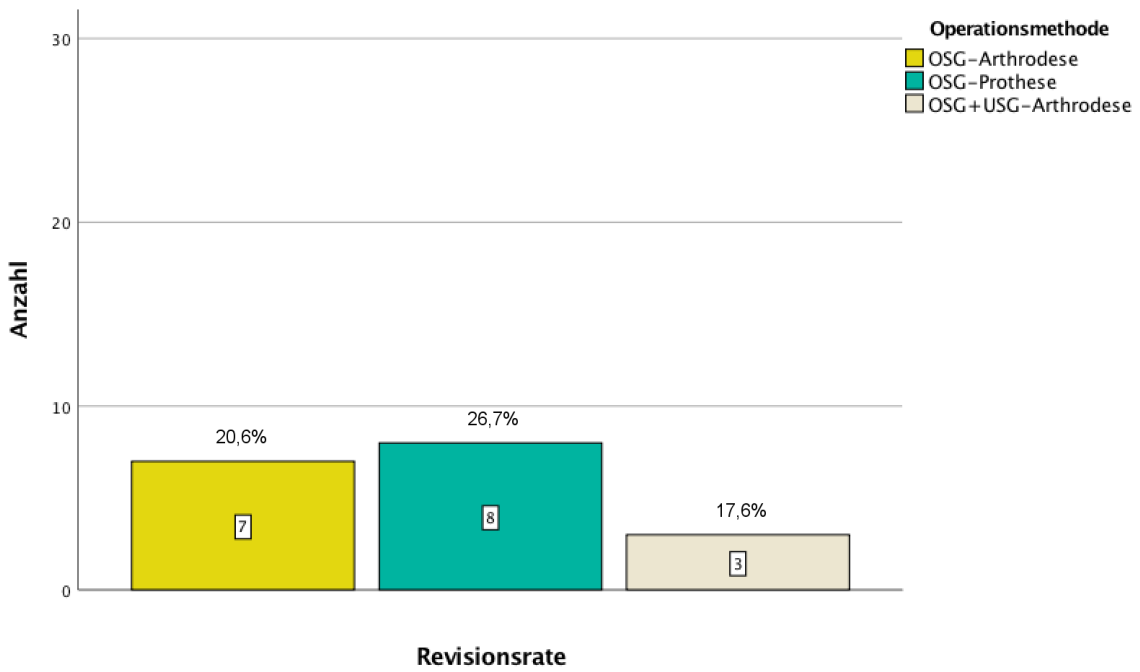


Abbildung 32: Revisionsrate

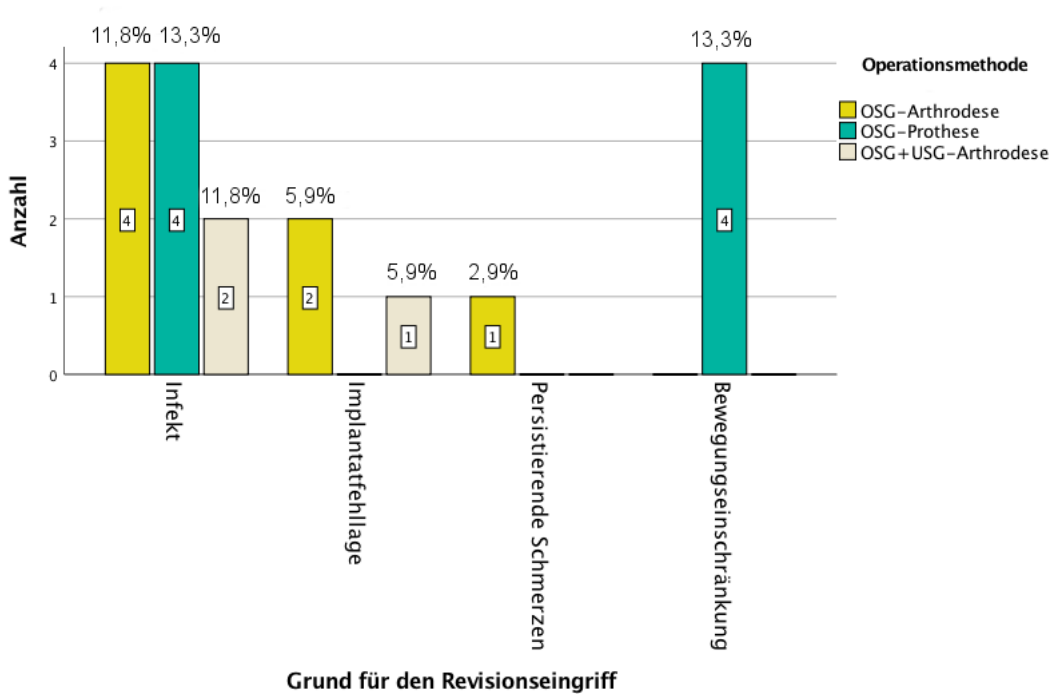


Abbildung 33: Häufigkeit- und Grund für einen Revisionseingriff

### 3.4 Patientenrekrutierung und Einbestellung

Die Patienten wurden entsprechend der Ein- und Ausschlusskriterien in der Patientendatenbank der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen selektiert. Diese Patienten wurden zunächst schriftlich kontaktiert. Dem Schreiben lagen die Informationen über das Studienvorhaben und eine Einwilligungserklärung gemäß des Ethikantrages bei. Dieser wird bei der Ethik-Kommission der medizinischen Fakultät an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen unter dem Aktenzeichen 352/2014BO2 geführt. Die Unterlagen können der Anlage entnommen werden. Im Anschluss wurden die Patienten zur Beantwortung noch ungeklärter Fragen und zur Terminabsprache telefonisch kontaktiert.

### 3.5 Studienablauf und Untersuchung

Die Untersuchung fand in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen statt. Unmittelbar vor der Untersuchung wurden die Patienten nochmal über den Hintergrund der Studie, den Ablauf und den Datenschutz aufgeklärt. Die Studienteilnahme konnte von den Patienten zu jeder Zeit und ohne Angabe von Gründen abgebrochen werden. Ob die erhobenen Daten für die Studie verwendet werden durften, oblag der alleinigen Entscheidung der Patienten.

Die Nachuntersuchung erfolgte in drei Schritten: Ausführliche Anamnese mit klinischer Untersuchung der unteren Extremitäten. Bei Restbeschwerden bzw. Besonderheiten wurde nach fachärztlicher Beratung die Indikation für eine zusätzliche röntgenologische Untersuchung geprüft und durchgeführt. Zur Dokumentation wurde ein Anamnesebogen erstellt (siehe Anlage). Dieser enthielt Daten, aus vorliegenden Krankenakten und Operationsberichten. Zusätzlich wurde der AOFAS-Score erhoben.

Das Bewegungsausmaß wurde nach der Neutral-Null-Methode unter Verwendung eines Goniometers erfasst. Die Patienten wurden hinsichtlich der Wundverhältnisse, möglicher Achsabweichungen, Kraftgradminderungen, Störungen der Durchblutung, Motorik und Sensibilität, Beinlängendifferenzen und Muskelatrophien untersucht. Das Gangbild wurde auf einer geraden, 5m langen Strecke von vorne und hinten analysiert. Dabei trugen die Patienten weder Schuhe, noch Socken. Mit schriftlicher Einwilligung der Patienten wurden besondere Befunde video- und foto-dokumentiert.

#### **3.5.1 AOFAS-Score**

Der AOFAS-Score wurde 1994 von Kitaoka et al. (American Orthopaedic Foot and Ankle Society) zur standardisierten klinischen Untersuchung des oberen- und unteren Sprunggelenks entwickelt (siehe Anlage). Als solcher hat er sich durchgesetzt und ist heute, trotz einiger Nachteile, der mit Abstand am häufigsten verwendete Score in der Sprunggelenkschirurgie (16, 63, 64). In 9 Items werden Fragen zu Schmerz (max. 40 Punkte), Funktion (max. 50 Punkte) und Alignment (max. 10 Punkte) formuliert. Insgesamt können 100 Punkte erreicht werden (65).

#### **3.5.2 Radiologische Untersuchung**

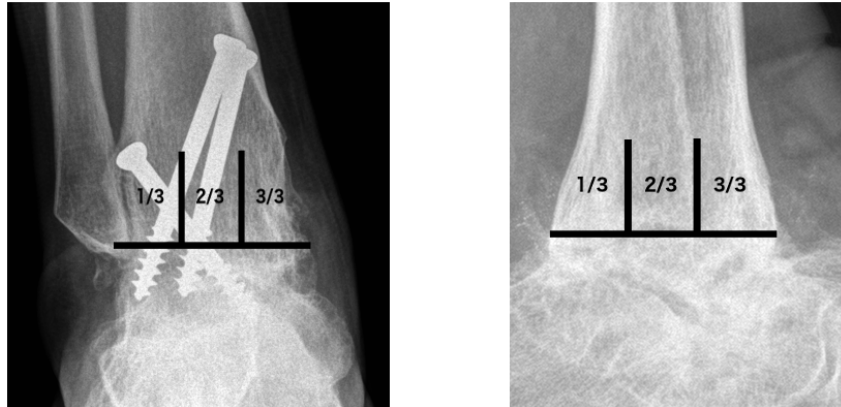
Die im Vorfeld angefertigten Röntgenaufnahmen wurden zur Analyse dieser Studie herangezogen und beinhalteten in der klinischen Routine Aufnahmen des OSG in 2 Ebenen (a.p.- und seitlicher Strahlengang), Aufnahmen des Fußes in 3 Ebenen unter Belastung und Aufnahmen im sog. Harris-View. Alle Röntgenaufnahmen, welche die Fragestellungen der Studie beantworten, wurden berücksichtigt. Während der klinischen Nachuntersuchung erfolgte immer eine zusätzliche fachärztliche Beratung (mit vorliegender Fachkunde im Strahlenschutz). Bei relevanten Restbeschwerden bzw. Problemkonstellationen wurde nur bei klinischer Notwendigkeit eine zusätzliche Röntgendiagnostik angeschlossen.

### Radiologische Analyse nach Arthrodesese

Die knöchernen Konsolidierung der Arthrodesese wurde in der Frontal- und Sagittalebene beurteilt. Die Analyse beinhaltete die Entstehung von Anschlussarthrosen der angrenzenden Gelenke (Subtalar, Chopart- und Lisfrancgelenklinie), das Alignment, sowie mögliche implantat-assoziierte Komplikationen (Lockerungen etc.). Um die knöchernen Durchbauung zu quantifizieren, wurde die Arthrodesese fläche sowohl im a.p.- und seitlichen Röntgenbild in Drittel aufgeteilt (Tabelle 11 und Abbildung 34). Dabei wurde eine in beiden Ebenen mit mindestens 2/3 (bezogen auf die Fläche) durchbaute Arthrodesese als vollständig durchbaut, eine nur zu 1/3 durchbaute Arthrodesese als nicht konsolidiert bzw. pseudarthrotische Komplikation gewertet (Abbildung 34). Die angrenzenden Gelenke wurden hinsichtlich möglicher Arthrosen nach der Kellgren- und Lawrence Klassifikation eingeteilt (Tabelle 12) (46). Die radiologische Analyse der Arthrodesese in der Frontal- und Sagittalebene beinhaltete das Rückfußalignment und den lateralen Dorsalextensions- bzw. – Plantarflexionswinkel (Abbildung 35 und 36) (44, 66). Abweichungen von bis zu 5° Varus oder Valgus bzw. 5° Spitz- oder Hackenfuß wurden als normwertig eingestuft. Werte außerhalb dieses Tolleranzbereichs wurden als Malalignment gewertet und zusätzlich in Grad quantifiziert (4, 26, 34, 51).

0	Nicht konsolidiert (Pseudarthrose)
1/3	Unvollständig konsolidiert
2/3	Nahezu vollständig konsolidiert
3/3	Vollständig konsolidiert

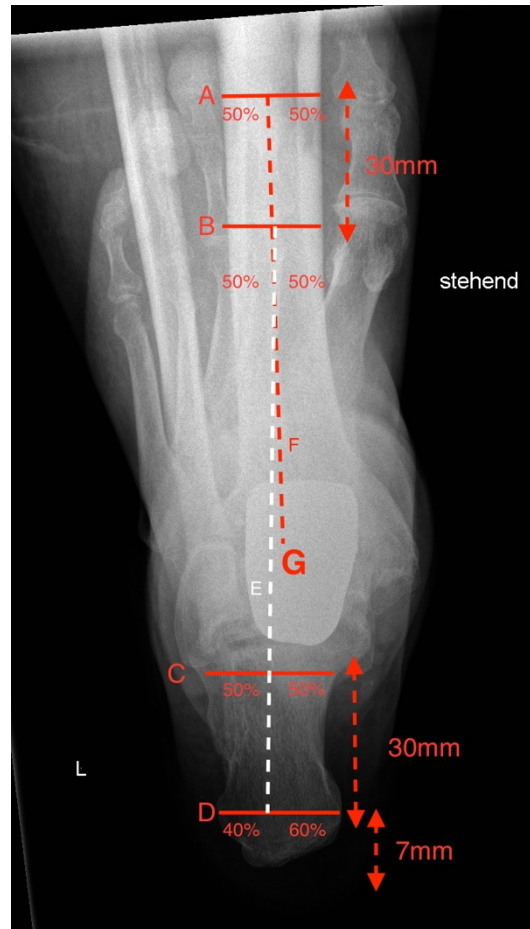
**Tabelle 11:** *Vollständigkeit der knöchernen Konsolidierung der OSG-Arthrodesese im Röntgenbild*



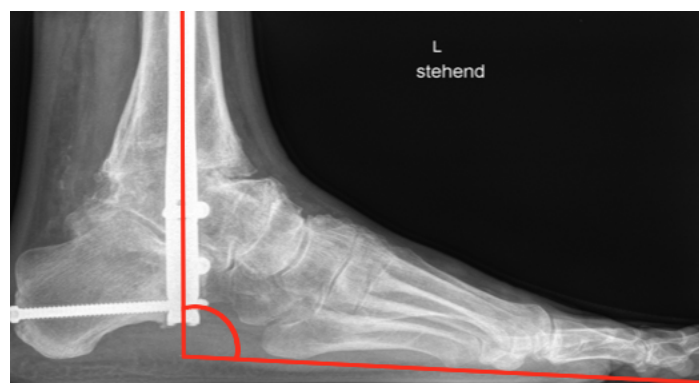
**Abbildung 34:** Schemazeichnung a.p.- und seitlich zur Einteilung der Arthrodesefläche in Drittel. Vollständig durchbaute OSG-Arthrodesese (3/3) in beiden Ebenen

Grad 0	Keine Merkmale einer Arthrose
Grad 1	Zweifelhafte Verengung des Gelenkspalts und mögliche Osteophyten
Grad 2	Mögliche Verengung des Gelenkspalts und sichere Osteophyten
Grad 3	Sichere Verengung des Gelenkspalts, moderate multiple Osteophyten, geringe Sklerose und mögliche Deformierung der Knochenenden
Grad 4	Deutliche Verengung des Gelenkspalts, große Osteophyten, schwere Sklerose und Deformität der Knochenenden

**Tabelle 12:** Klassifikation der Anschlussarthrose anhand röntgenologischer Gesichtspunkte nach Kellgren-Lawrence (46)



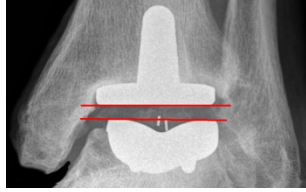
**Abbildung 35:** Bestimmen des Rückfußwinkels (G) zwischen der Linie (E) und (F) anhand einer Aufnahme nach Harris (long-axial-view), in diesem Beispiel bei einliegender TEP (44)



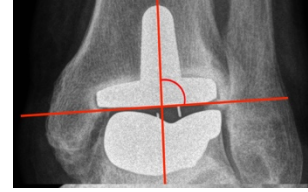
**Abbildung 36:** Bestimmen des sagittalen Alignments anhand des lateralen Dorsalextensions- bzw. Plantarflexionswinkels, in diesem Beispiel nach Nagelarthrodese (66)

#### **Radiologische Analyse nach OSG-Prothese**

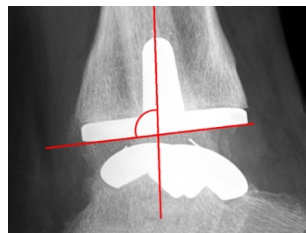
Um das Alignment der Prothesenkomponenten möglichst genau zu erfassen, wurden verschiedene Messgrößen herangezogen. In der a.p. Ansicht wurde der Winkel zwischen der tibialen- und talaren Komponente bestimmt. Idealerweise beträgt dieser  $0^\circ$ , Abweichungen  $>\pm 5^\circ$  wurden als Malalignment gewertet (Abbildung 37). Zur Bestimmung der Positionierung der tibialen Komponente in der Frontalebene wurde der Winkel ( $\alpha$ ) zwischen der mechanischen Achse der Tibia und dem Tibiaplateau gemessen (Abbildung 38).  $90^\circ$  gelten als ideal, Abweichungen von  $>\pm 5^\circ$  wurden als Malalignment gewertet. In der Sagittalebene wurde der Slope ( $\beta$ ) der tibialen Komponente bestimmt (Abbildung 39). Ein Wert zwischen  $90-95^\circ$  gilt als ideal. Abweichungen von  $>\pm 5^\circ$  wurden als Malalignment gewertet. In der frontalen Ebene wurde eine Projektion der talaren Komponente von  $\geq 2\text{mm}$  medial- oder lateral der tibialen Komponente als Malalignment gewertet (Abbildung 40). In der seitlichen Ansicht wurde das Verhältnis der tibialen- und talaren Komponente zueinander beurteilt. Befinden sich beide Markierungen des PE-Inlays außerhalb der Zone, die in Verlängerung des tibialen Zapfens (gestrichelte Linie) gebildet wird, sind die Komponenten korrekt zueinander positioniert (Abbildung 41) (67, 68).



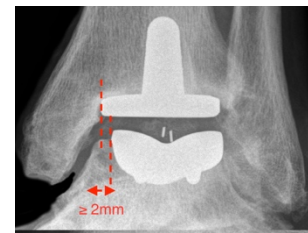
**Abbildung 37:** *Positionierung der tibialen- und talaren Komponente zueinander in der Frontalebene*



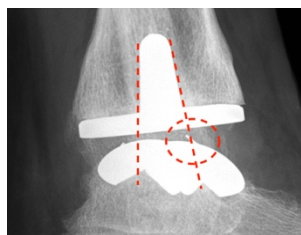
**Abbildung 38:** *Positionierung der tibialen Komponente in der Frontalebene ( $\alpha$ )*



**Abbildung 39:** *Slope ( $\beta$ ) der tibialen Komponente in der Sagittalebene*



**Abbildung 40:** *Projektion der talaren- im Verhältnis zur tibialen Komponente in der Frontalebene  
– hier nicht exakt, da sich die talare Komponente >2mm lateral der tibialen projiziert*

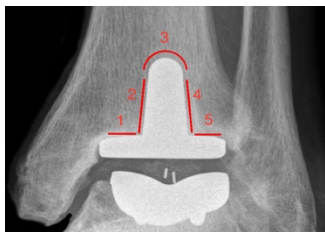


**Abbildung 41:** *Projektion der talaren- im Verhältnis zur tibialen Komponente in der Sagittalebene. Die Lage des Polyethyleninlays ist korrekt.*

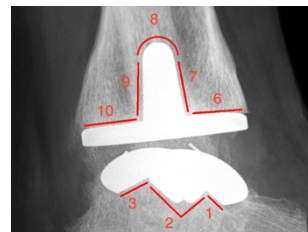


Periprothetische Aufhellungen  $>1\text{mm}$  wurden als potentielle Lockerung der Prothesenkomponente gewertet. Zur exakten Angabe der Lokalisation wurde analog zu Rippstein et al. die tibiale Komponente in der a.p.- und seitlichen Ansicht in fünf Zonen und die talare Komponente in der seitlichen Ansicht in drei Zonen eingeteilt (Abbildung 42 und 43) (67).

Heterotope Ossifikationen (Abbildung 21) wurden im a.p.- und seitlichen Strahlengang anhand der von Lee und Cho modifizierten Brooker-Klassifikation in Schweregrade eingeteilt (Tabelle 13) (69). Als solche wurden alle postoperativ, neu aufgetretenen knöchernen Strukturen gewertet. Ihre Lokalisation wird wie folgt beschrieben: posterolateral, posteromedial, anterolateral, anteromedial. Keinem der Patienten wurden postoperativ Maßnahmen zur Prävention heterotoper Ossifikationen zugeführt. Das Auftreten periprothetischer Osteolysen/Zysten (Abbildung 20) wurde unter Angabe ihrer Lokalisation dokumentiert. Als solche wurden analog zu Choi et al. alle periprothetischen, zystisch konfigurierten Aufhellungen  $>2\text{mm}$  gewertet (70). Das Rückfußalignment wurde wie in (Abbildung 35) dargestellt ausgemessen.



**Abbildung 42:** Einteilung der tibialen Komponente in 5 Zonen in der a.p. Ansicht zur Lokalisation eines Lockerungssaumes



**Abbildung 43:** Einteilung der tibialen- in 5 und der talaren Komponente in 3 Zonen in der seitlichen Ansicht zur Lokalisation eines Lockerungssaumes

Klasse 0	Keine heterotopen Ossifikationen
Klasse 1	Knocheninseln innerhalb des umliegenden Weichteilgewebes
Klasse 2	Von der Tibia oder dem Talus ausgehender Knochensporn, der den hinteren Gelenkspalt zu <50% reduziert
Klasse 3	Von der Tibia oder dem Talus ausgehender Knochensporn, der den hinteren Gelenkspalt zu >50% reduziert
Klasse 4	Knochenbrücke zwischen der Tibia und dem Talus

**Tabelle 13:** *Klassifikation heterotoper Ossifikationen am OSG nach der von Lee und Cho modifizierten Brooker-Klassifikation (69)*

### 3.6 Risiken und Nebenwirkungen

Die Studie führte zu keinen körperlichen- oder geistigen Nebenwirkungen oder Belastungen. Die Röntgenaufnahme des operierten Sprunggelenks wurde bei Beschwerden im Rahmen der klinischen Routine empfohlen und nicht obligat durchgeführt.

#### 3.7 Elektronische Datenverarbeitung, Statistik und Literatur

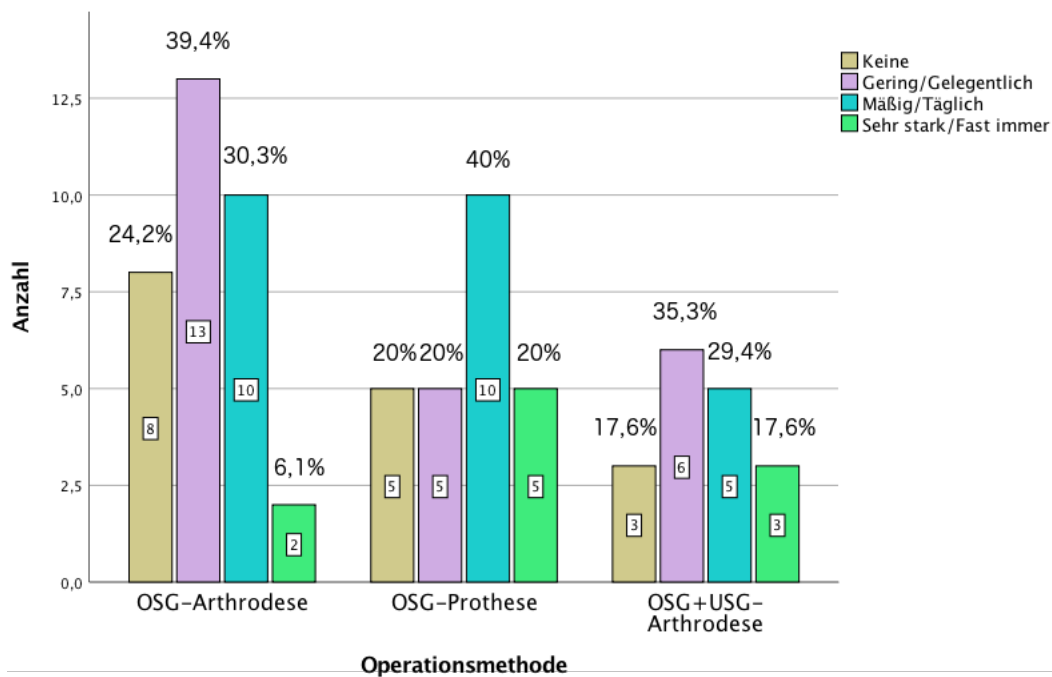
Die erhobenen Daten wurden zunächst schriftlich auf einem Anamnesebogen dokumentiert. Alle Patienten erhielten einen Pseudonym in Form einer Nummer. Nach Abschluss der Datenerhebung wurden alle Daten mithilfe der Software OpenClinica Community Version 3.13 digitalisiert. Mit Unterstützung von Frau Dipl.-Stat. A Naumann aus dem Institut für klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie in Tübingen erfolgte die statistische Auswertung mit der Software IBM® SPSS® Statistics Version 25 für Mac. Folgende Testverfahren wurden angewandt:  $\chi^2$ -Test, exakter Test nach Fischer, t-Test bei unabhängigen Stichproben, Einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA), Shapiro-Wilk-Test, Levene-Test, Tukey-HSD, Welch-Test, Games-Howell post-hoc Test. Für alle Testverfahren wurde die Irrtumswahrscheinlichkeit einheitlich auf  $p=0,05$  festgelegt. Ausreißer wurden konsequent im Datensatz belassen und ihre Werte im Besonderen auf Eingabe- und Messfehler hin überprüft. Die Literaturrecherche erfolgte auf Pubmed. Folgende Suchbegriffe wurden verwendet: ankle arthrodesis total ankle replacement; ankle arthrodesis vs total ankle replacement; ankle arthrodesis versus total ankle replacement; ankle arthrodesis tar; ankle fusion tar, ankle fusion total ankle replacement; mobility total ankle replacement; mobility tar; ankle arthrodesis; ankle arthrodesis radiological assessment; total ankle replacement radiological assessment; total ankle replacement radiological results; total ankle replacement radiological outcome; ankle arthrodesis radiological outcome; ankle arthrodesis radiological results; ankle fusion radiological results; ankle fusion radiological outcome; tar aofas. Berücksichtigung fanden alle in deutscher- oder englischer Sprache verfassten Artikel aus den Jahren 2004 bis zum 05.07.2018. Darüber hinaus wurden relevante Literaturstellen aus vergleichenden Review-Artikeln der oben genannten Zeitspanne berücksichtigt. Das Literaturverzeichnis wurde mithilfe der Software EndNote X8.2 für Mac verwaltet.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 AOFAS-Score

#### Schmerz

**OSG-Arthrodesse:** 8 Patienten (24,2%) hatten „Keine“ Schmerzen. 13 Patienten (39,4%) hatten „Geringe/Gelegentlich“ Schmerzen. 10 Patienten (30,3%) hatten „Mäßige/Täglich“ Schmerzen. 2 Patienten (6,1%) hatten „Starke/Fast immer“ Schmerzen. **OSG-Prothese:** 5 Patienten (20%) hatten „Keine“ Schmerzen. 5 Patienten (20%) hatten „Geringe/Gelegentlich“ Schmerzen. 10 Patienten (40%) hatten „Mäßige/Täglich“ Schmerzen. 5 Patienten (20%) hatten „Starke/Fast immer“ Schmerzen. **OSG+USG-Arthrodesse:** 3 Patienten (17,6%) hatten „Keine“ Schmerzen. 6 Patienten (35,3%) hatten „Geringe/Gelegentlich“ Schmerzen. 5 Patienten (29,4%) hatten „Mäßige/Täglich“ Schmerzen. 3 Patienten (17,6%) hatten „Starke/Fast immer“ Schmerzen. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen ( $p=0,575$ ) (Abbildung 44).



**Abbildung 44: AOFAS - Score – Schmerz:** Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen ( $p=0,575$ )

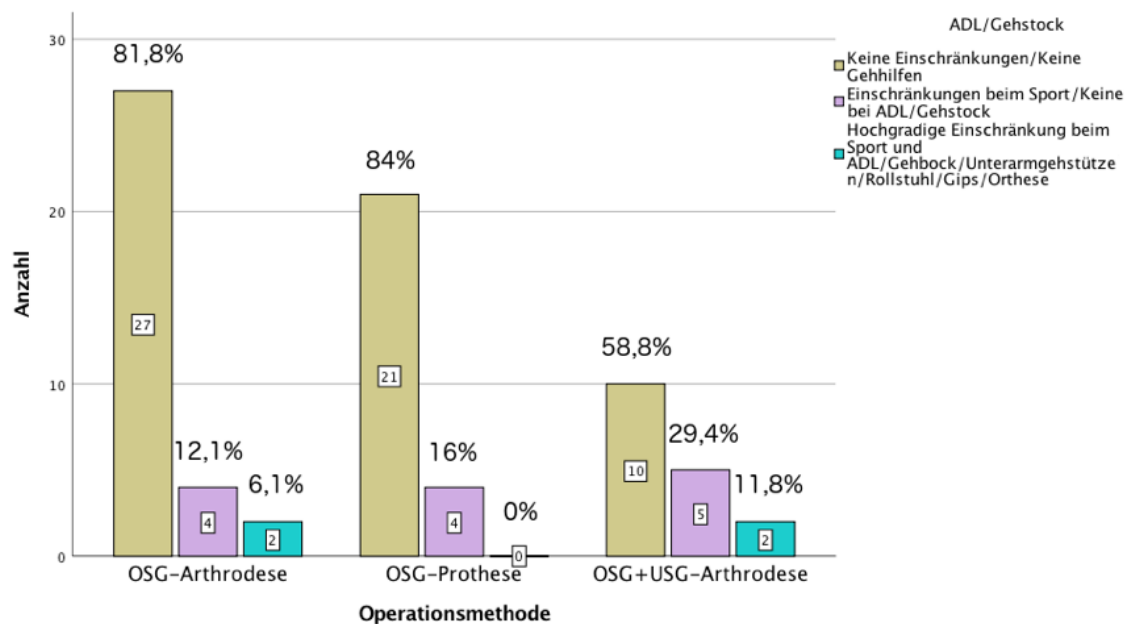
### Funktion, Aktivität, Gehhilfen

**OSG-Arthrodesis:** 27 Patienten (81,8%) hatten „keine Einschränkungen und benötigen keine Gehhilfen“. 4 Patienten (12,1%) hatten „Einschränkungen beim Sport, keine bei Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL) und benötigten auch keinen Gehstock“. 2 Patienten (6,1%) hatten „hochgradige Einschränkungen beim Sport und ADL und benötigten einen Gehbock, Unterarmgehstützen, einen Rollstuhl, einen Gips oder eine Orthese“.

**OSG-Prothese:** 21 Patienten (84,0%) hatten „keine Einschränkungen und benötigten keine Gehhilfen“. 4 Patienten (16%) hatten „Einschränkungen beim Sport, keine bei Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL) und benötigten auch keinen Gehstock“.

**OSG+USG-Arthrodesis:** 10 Patienten (58,8%) hatten „keine Einschränkungen und benötigten keine Gehhilfen“. 5 Patienten (29,4%) hatten „Einschränkungen beim Sport, keine bei Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL) und benötigten auch keinen Gehstock“. 2 Patienten (11,8%) hatten „hochgradige Einschränkungen beim Sport und ADL und benötigten einen Gehbock,

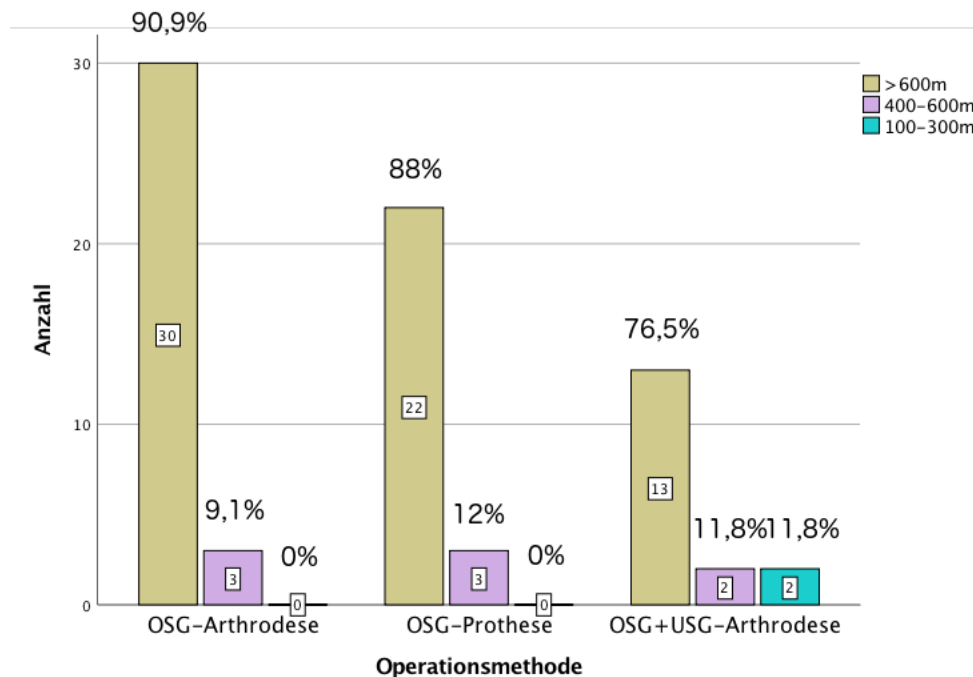
Unterarmgehstützen, einen Rollstuhl, einen Gips oder eine Orthese“. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen ( $p=0,226$ ) (Abbildung 45).



**Abbildung 45:** AOFAS-Score – Funktion, Aktivität, Gehhilfen: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen ( $p=0,226$ )

### Gehstrecke

**OSG-Arthrothese:** 30 Patienten (90,9%) konnten problemlos eine Strecke von >600m zurücklegen. Bei 3 Patienten (9,1%) traten nach einer Strecke von 400-600m Probleme auf. **OSG-Prothese:** 22 Patienten (88%) konnten problemlos eine Strecke von >600m zurücklegen. Bei 3 Patienten (12%) traten nach einer Strecke von 400-600m Probleme auf. **OSG+USG-Arthrothese:** 13 Patienten (76,5%) konnten problemlos eine Strecke von >600m zurücklegen. Bei 2 Patienten (11,8%) traten nach einer Strecke von 400-600m Probleme auf. Bei 2 Patienten (11,8%) traten bereits nach einer Strecke von 100-300m Probleme auf. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen ( $p=0,120$ ) (Abbildung 46).

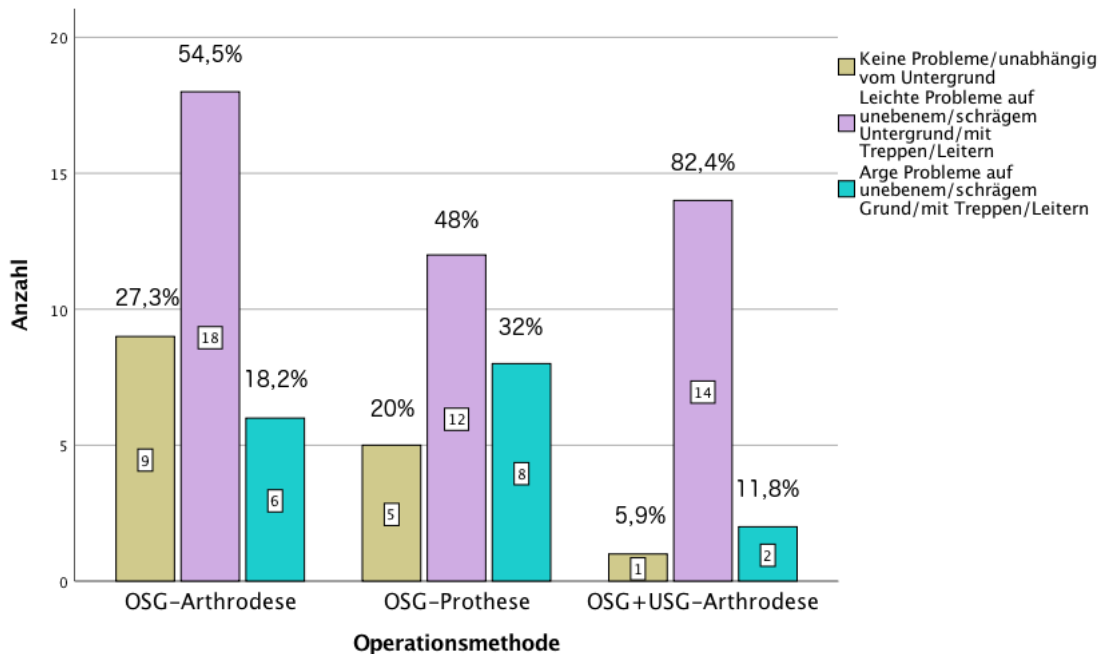


**Abbildung 46:** AOFAS-Score – Gehstrecke: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen ( $p=0,120$ )

### Bodenbelag/-profil

**OSG-Arthrorese:** 9 Patienten (27,3%) hatten „keine Probleme bzw. Probleme unabhängig vom Untergrund“. 18 Patienten (54,5%) hatten „Leichte Probleme auf unebenem/schrägem Untergrund bzw. auf Treppen und Leitern“. 6 Patienten (18,2%) hatten „Arge Probleme auf unebenem/schrägem Untergrund bzw. auf Treppen und Leitern“. **OSG-Prothese:** 5 Patienten (20%) hatten „keine Probleme bzw. Probleme unabhängig vom Untergrund“. 12 Patienten (48%) hatten „Leichte Probleme auf unebenem/schrägem Untergrund bzw. auf Treppen und Leitern“. 8 Patienten (32%) hatten „Arge Probleme auf unebenem/schrägem Untergrund bzw. auf Treppen und Leitern“. **OSG+USG-Arthrorese:** 1 Patient (5,9%) hatte „keine Probleme bzw. Probleme unabhängig vom Untergrund“. 14 Patienten (82,4%) hatten „Leichte Probleme auf unebenem/schrägem Untergrund bzw. auf Treppen und Leitern“. 2 Patienten (11,8%) hatten „Arge Probleme auf unebenem/schrägem Untergrund

bzw. auf Treppen und Leitern. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen ( $p=0,138$ ) (Abbildung 47).

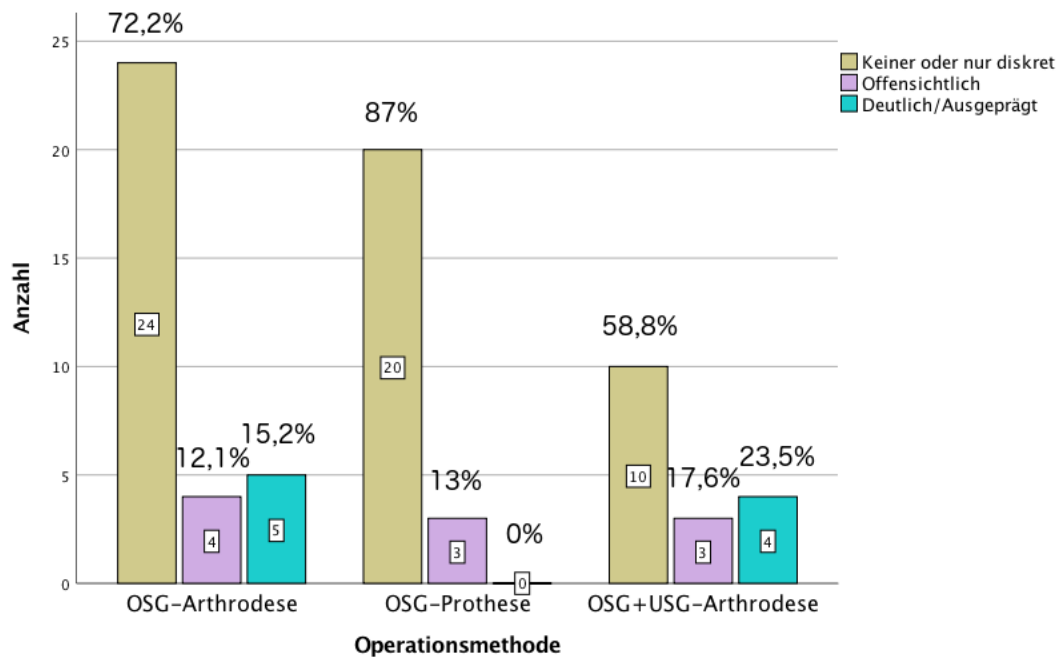


**Abbildung 47: AOFAS-Score – Bodenbelag/-profil: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen ( $p=0,138$ )**

### Gehfehler

**OSG-Arthrodesse:** 24 Patienten (72,7%) hatten „keinen- oder nur einen diskreten“ Gehfehler. 4 Patienten (12,1%) hatten einen „offensichtlichen“ Gehfehler und 5 Patienten (15,2%) hatten einen „deutlichen- bzw. ausgeprägten“ Gehfehler. **OSG-Prothese:** 20 Patienten (87%) hatten „keinen- oder nur einen diskreten“ Gehfehler. 3 Patienten (13%) hatten einen „offensichtlichen“ Gehfehler. **OSG+USG-Arthrodesse:** 10 Patienten (58,8%) hatten „keinen- oder nur einen diskreten“ Gehfehler. 3 Patienten (17,6%) hatten einen „offensichtlichen“ Gehfehler und 4 Patienten (23,5%) hatten einen „deutlichen- bzw. ausgeprägten“ Gehfehler. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen ( $p=0,199$ ) (Abbildung 48).

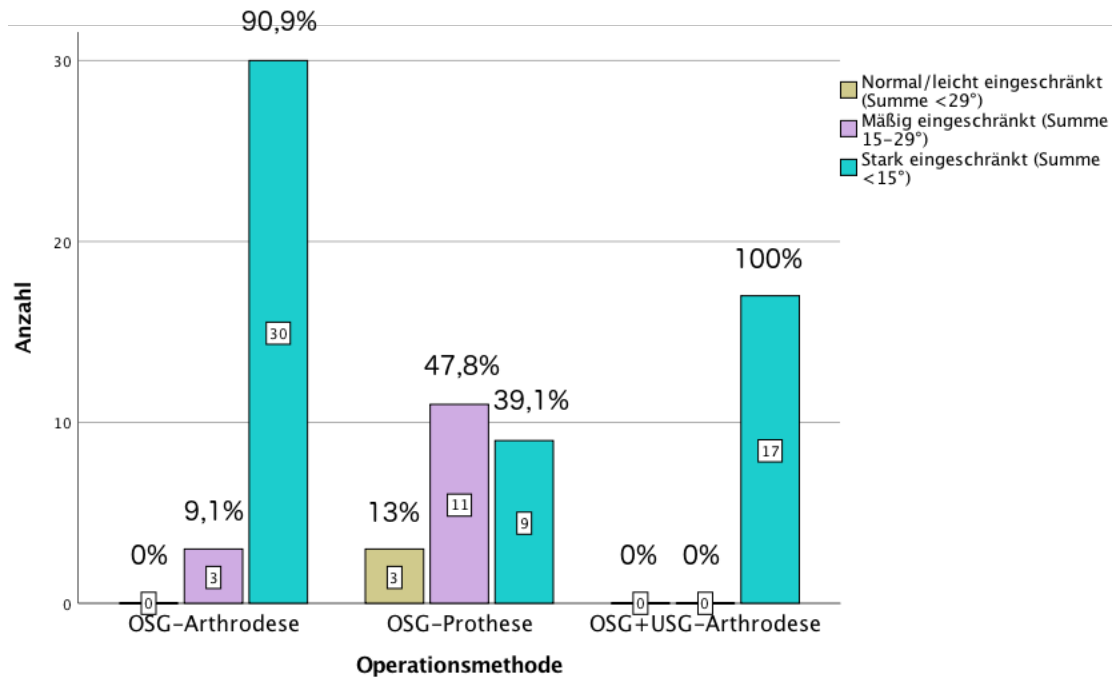




**Abbildung 48: AOFAS-Score – Gehfehler: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen ( $p=0,199$ )**

#### Range of Motion (ROM) – Flexion/Extension im oberen Sprunggelenk

**OSG-Arthrodesis:** 3 Patienten (9,1%) hatten eine „mäßig eingeschränkte ROM (Summe 15-29°)“ im oberen Sprunggelenk. 30 Patienten (90,9%) hatten eine „stark eingeschränkte ROM (Summe <15°)“ im oberen Sprunggelenk. **OSG-Prothese:** 3 Patienten (13%) hatten eine „normale- oder nur leicht eingeschränkte ROM (Summe <29°)“ im oberen Sprunggelenk. 11 Patienten (47,8%) hatten eine „mäßig eingeschränkte ROM (Summenmittel zwischen 15-29°)“ im oberen Sprunggelenk. 9 Patienten (39,1%) hatten eine „stark eingeschränkte ROM (Summe <15°)“ im oberen Sprunggelenk. **OSG+USG Arthrodesis:** 17 Patienten (100%) hatten eine „stark eingeschränkte ROM (Summe <15°)“ im oberen Sprunggelenk. Es bestand ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen OSG-Arthrodesis und OSG-Prothese ( $p=0,001$ ) und den Gruppen OSG-Prothese und OSG+USG-Arthrodesis ( $p=0,001$ ) (Abbildung 49).



**Abbildung 49:** AOFAS-Score - ROM Extension/Flexion im OSG. Nach Implantation einer OSG-Prothese bestand ein signifikant größeres Bewegungsausmaß in der sagittalen Ebene als nach Arthrodese ( $p=0,001$ )

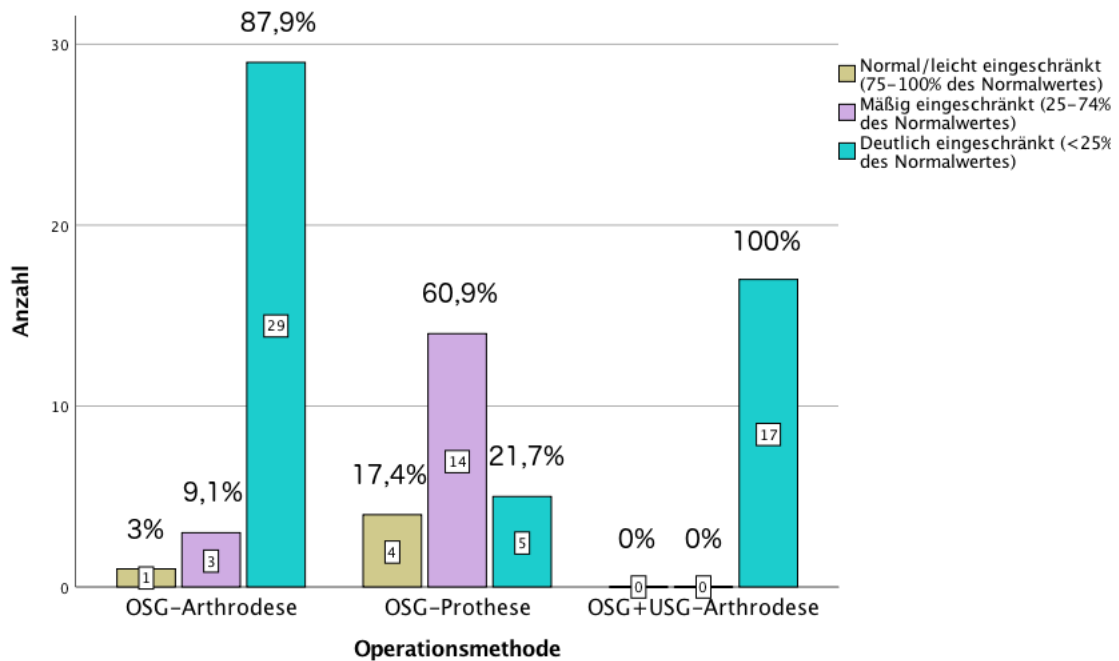
### Range of Motion (ROM) – Inversion/Eversion im unteren Sprunggelenk

**OSG-Arthrodese:** 1 Patient (3%) hatte eine „normale- bzw. nur leicht eingeschränkte ROM (75-100% des Normalwertes) im unteren Sprunggelenk. 3 Patienten (9,1%) hatten eine „mäßig eingeschränkte ROM (25-74% des Normalwertes) im unteren Sprunggelenk. 29 Patienten (87,9%) hatten eine „deutlich eingeschränkte ROM (<25% des Normalwertes) im unteren Sprunggelenk. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass 1 Patient präoperativ mit einer Triple-Arthrodese versorgt wurde.

**OSG-Prothese:** 4 Patienten (17,4%) hatten eine „normale- bzw. nur leicht eingeschränkte ROM (75-100% des Normalwertes) im unteren Sprunggelenk. 14 Patienten (60,9%) hatten eine „mäßig eingeschränkte ROM (25-74% des Normalwertes) im unteren Sprunggelenk). 5 Patienten (21,7%) hatten eine „deutlich eingeschränkte ROM (<25% des Normalwertes) im unteren

Sprunggelenk. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass 2 Patienten präoperativ mit einer subtalaren Arthrodesen versorgt wurden.

**OSG+USG-Arthrodesen:** 17 Patienten (100%) hatten eine „deutlich eingeschränkte ROM (<25% des Normalwertes) im unteren Sprunggelenk. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass 1 Patient präoperativ mit einer talonavikularen Arthrodesen versorgt wurde. Es bestand ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen OSG-Arthrodesen und OSG-Prothese ( $p=0,001$ ) und den Gruppen OSG-Prothese und OSG+USG-Arthrodesen ( $p=0,001$ ) (Abbildung 50).



**Abbildung 50:** AOFAS-Score –ROM Inversion/Eversion im USG: Nach Implantation einer OSG-Prothese bestand auch in der frontalen Ebene ein signifikant größeres Bewegungsausmaß als nach Arthrodesen ( $p=0,001$ )

**OSG- und USG Stabilität:**

Bei keinem der Patienten (0%) konnte eine Instabilität (vermehrter Talusverschub, vermehrte laterale- und/oder mediale Aufklappbarkeit) nachgewiesen werden.

Der Shapiro-Wilk-Test ergab, dass die Gesamtpunktzahlen der Kategorie „Funktion“ innerhalb der Gruppe OSG-Prothese und OSG+USG-Arthrodesese normalverteilt waren, nicht jedoch in der Gruppe OSG-Arthrodesese.

Varianzhomogenität war gemäß dem Levene-Test gegeben ( $p=0,356$ ).

Zwischen den Gruppen bestand ein signifikanter Unterschied,  $F(2, 70) = 11,562$ ,  $p < .000$ . Der Games-Howell post-hoc Test zeigte einen signifikanten Unterschied der Gesamtpunktzahlen innerhalb der Kategorie Funktion zwischen den Gruppen OSG-Arthrodesese und OSG-Prothese ( $p=0,001$ ) sowie zwischen den Gruppen OSG+USG-Arthrodesese und OSG-Prothese ( $p=0,001$ ).

**Alignment in der sagittalen Ebene**

**OSG-Arthrodesese:** Bei 29 Patienten (87,9%) wurde die Arthrodesese plantigrad (Abweichung max.  $0-10^\circ$ ) eingestellt. Bei 4 Patienten (12,1%) wurde die

Einstellung als mittelmäßig eingestuft. **OSG-Prothese:** Bei 18 Patienten

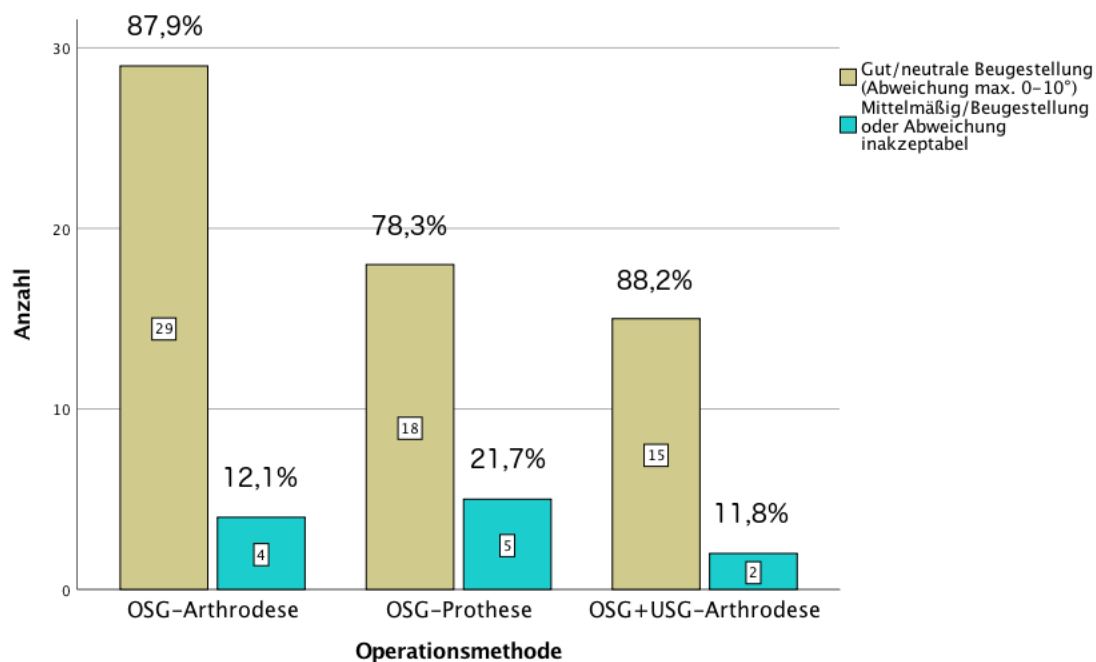
(78,3%) lag ein plantigrades Alignment vor (Abweichung max.  $0-10^\circ$ ). Bei 5

Patienten (21,7%) wurde die Einstellung als mittelmäßig eingestuft. **OSG+USG-**

**Arthrodesese:** Bei 15 Patienten (88,2%) wurde die Arthrodesese plantigrad

(Abweichung max.  $0-10^\circ$ ) eingestellt. Bei 2 Patienten (11,8%) wurde die

Einstellung als mittelmäßig eingestuft. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen ( $p=0,642$ ) (Abbildung 51).



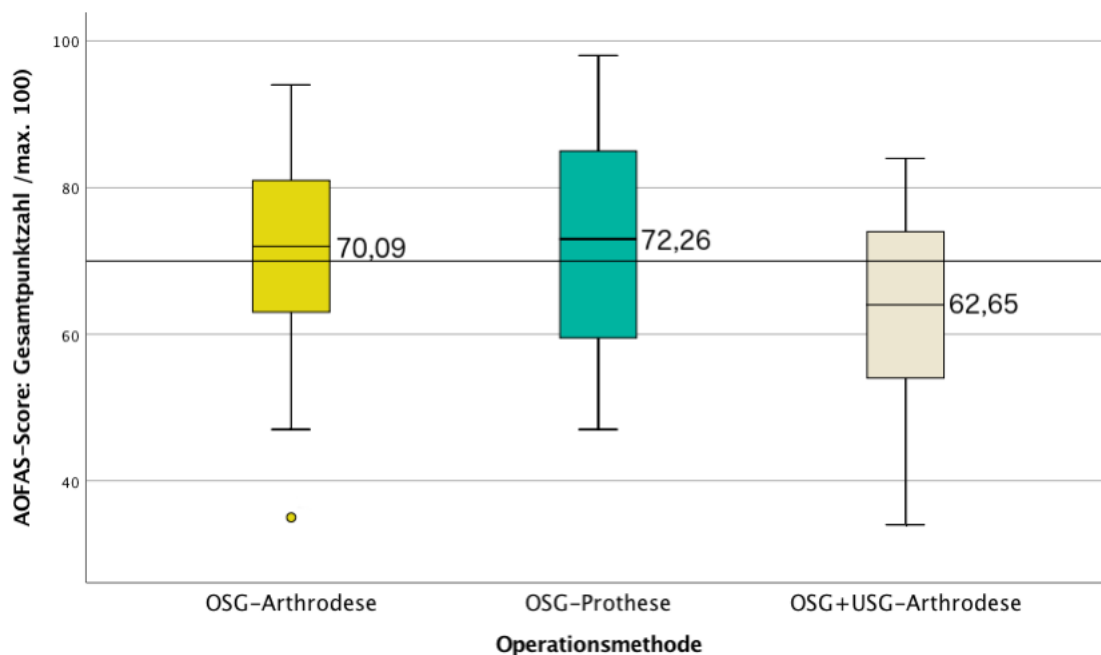
**Abbildung 51:** AOFAS-Score - Alignment in der sagittalen Ebene: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen ( $p=0,642$ )

### Gesamtpunktzahl (AOFAS-Score)

**OSG-Arthrorese:** Die erreichte Gesamtpunktzahl betrug im Mittel 70,1 Punkte (SD  $\pm$  13,6; 35 – 94 Punkte). Das entspricht einem mittelmäßigen Gesamtergebnis (60-74 Punkte). 1 Patient (3,0%) erzielte ein exzellentes, 11 Patienten (33,3%) ein gutes, 16 Patienten (48,5%) ein mittelmäßiges und 5 Patienten (15,2%) ein schlechtes Ergebnis. **OSG-Prothese:** Die erreichte Gesamtpunktzahl betrug im Mittel 72,3 Punkte (SD  $\pm$  15,3; 47 – 98 Punkte). Das entspricht einem mittelmäßigen Ergebnis (60-74 Punkte). 3 Patienten (13%) erzielten ein exzellentes, 7 Patienten (30,4%) ein gutes, 7 Patienten (30,4%) ein mittelmäßiges und 6 Patienten (26,1%) ein schlechtes Ergebnis. **OSG+USG-Arthrorese:** Die erreichte Gesamtpunktzahl betrug im Mittel 62,7 Punkte (SD  $\pm$  16,2; 34 – 84 Punkte). Das entspricht ebenfalls einem mittelmäßigen Ergebnis (60-74 Punkte). 4 Patienten (23,4%) erzielten ein gutes, 6 Patienten (35,3%) ein mittelmäßiges und 7 Patienten (41,2%) ein schlechtes Ergebnis. Eine Überprüfung mit dem Shapiro-Wilk-Test ergab, dass die Werte der Gesamtpunktzahl innerhalb aller 3 Gruppen normalverteilt waren.

Gemäß dem Levene-Test konnte eine Homogenität der Varianzen angenommen werden ( $p=0,477$ ). Es wurde eine einfaktorische Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Demnach bestand bezüglich der erreichten Gesamtpunktzahl kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen  $F(2,70) = 2,228$ ,  $p=0,115$  (Abbildung 52 und 53).

Innerhalb der Gruppe OSG-Arthrodesen bestand ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ergebnis des AOFAS-Score und der subjektiven Patientenzufriedenheit ( $\chi^2(12) = 21,698$ ;  $p = 0,041$ ; Cramers  $V=0,315$ ). Ein erfolgter Revisionseingriff beeinflusste das Ergebnis des AOFAS-Score nicht signifikant ( $p=0,963$ ).



**Abbildung 52:** AOFAS-Score – Gesamtpunktzahl: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ( $p=0,115$ )

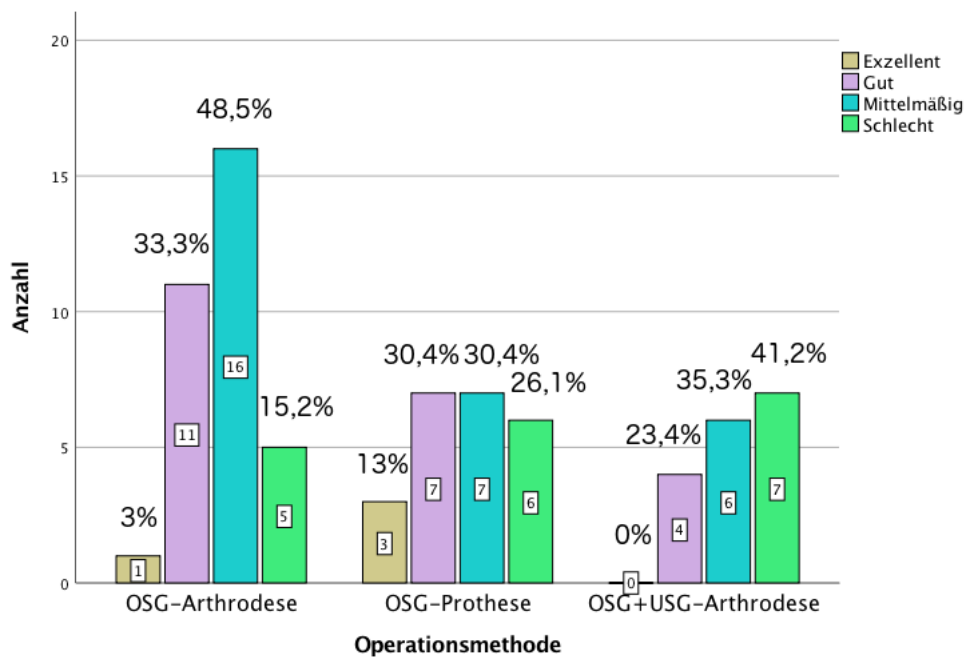
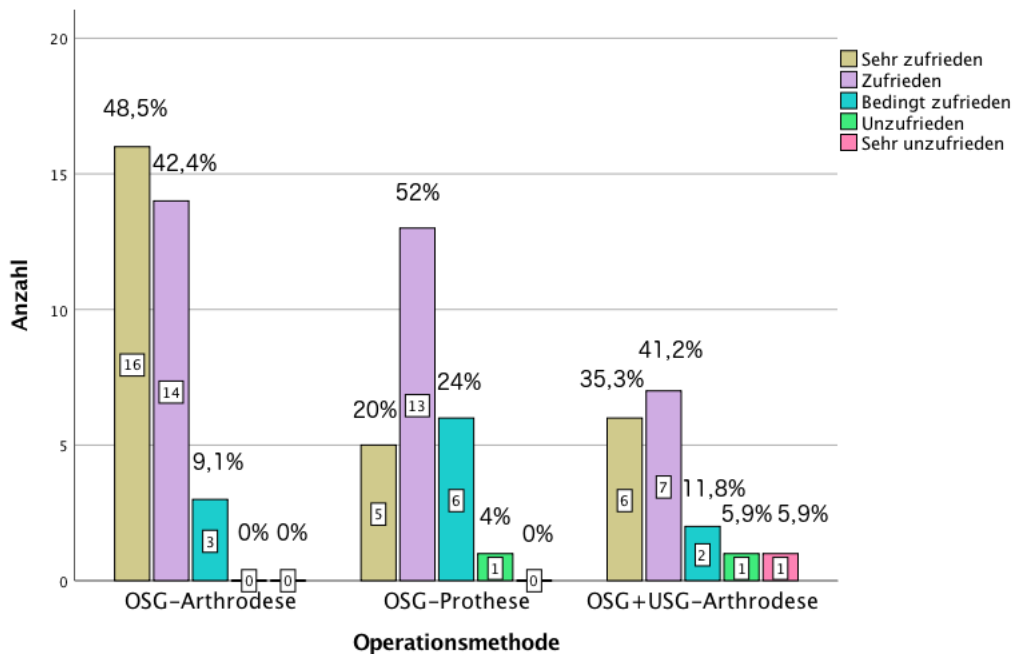


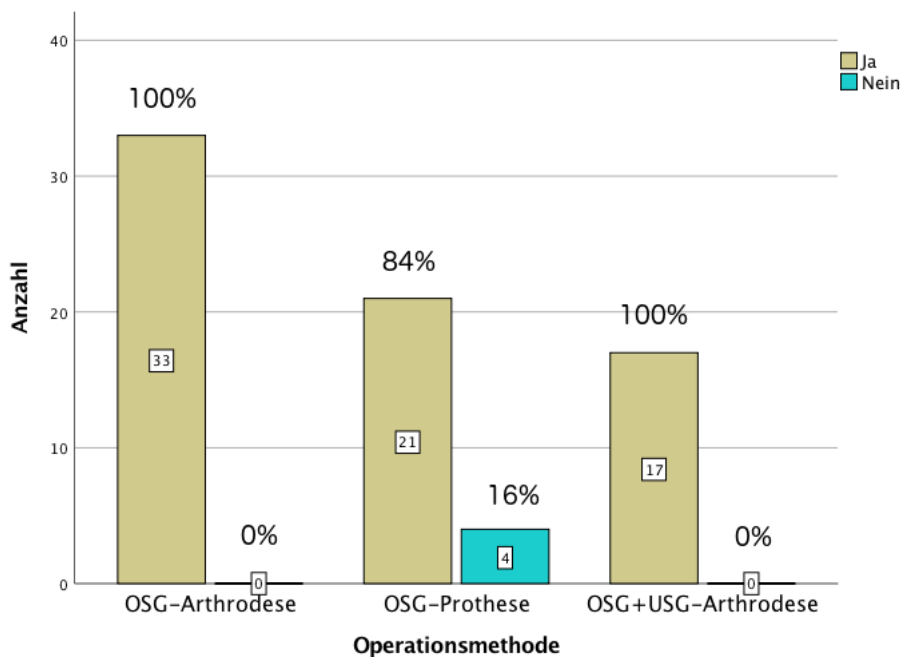
Abbildung 53: AOFAS-Score - Beurteilung der Gesamtpunktzahl

## 4.2 Subjektive Zufriedenheit

**OSG-Arthrodesis:** 16 Patienten (48,5%) waren mit dem Resultat der Operation "sehr zufrieden". 33 Patienten (100%) würden die Operation nach ihrem jetzigen Kenntnisstand erneut durchführen lassen. **OSG-Prothese:** 13 Patienten (52%) waren "zufrieden". 21 Patienten (84%) würden die Operation erneut durchführen lassen. **OSG+USG-Arthrodesis:** 7 Patienten (41,2%) waren "zufrieden". 17 Patienten (100%) würden die Operation erneut durchführen lassen. Hinsichtlich der subjektiven Zufriedenheit bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen ( $p=0,176$ ) (Abbildung 54). Darüber hinaus bestand ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen OSG-Arthrodesis und OSG-Prothese in Bezug auf diese letztgenannte Frage ( $p=0,030$ ) (Abbildung 55).



**Abbildung 54:** Hinsichtlich der *subjektiven Zufriedenheit* bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ( $p=0,176$ )



**Abbildung 55:** 84% der Patienten würden sich wieder für eine Prothese entscheiden.



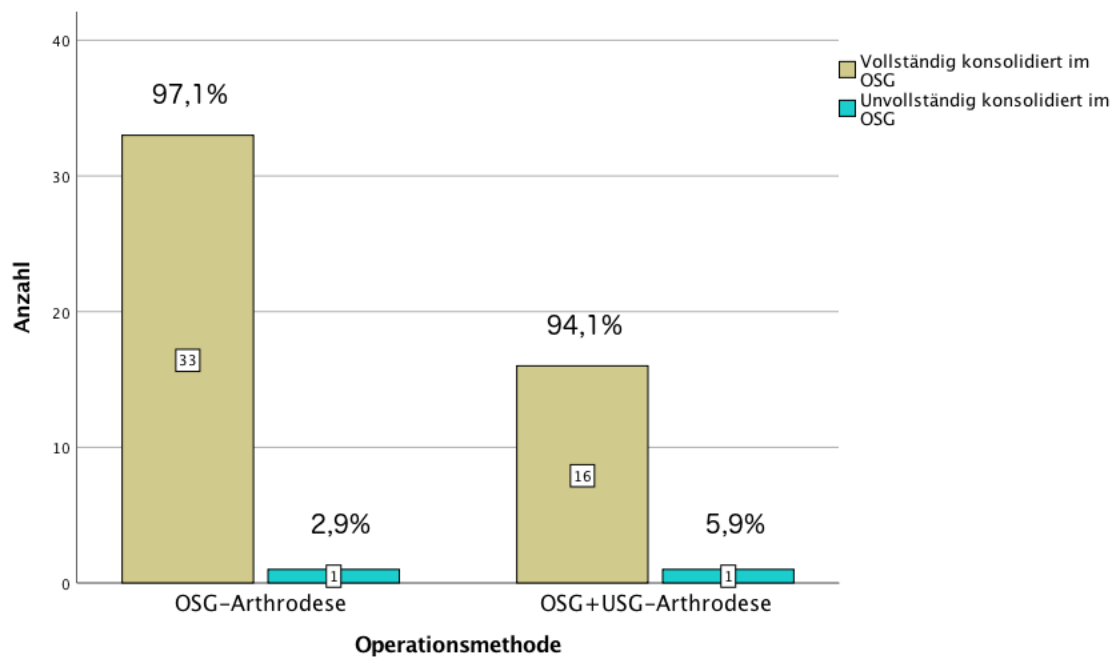
### 4.3 Radiologische Untersuchung

#### 4.3.1 Knöcherne Konsolidierung nach Arthrodese

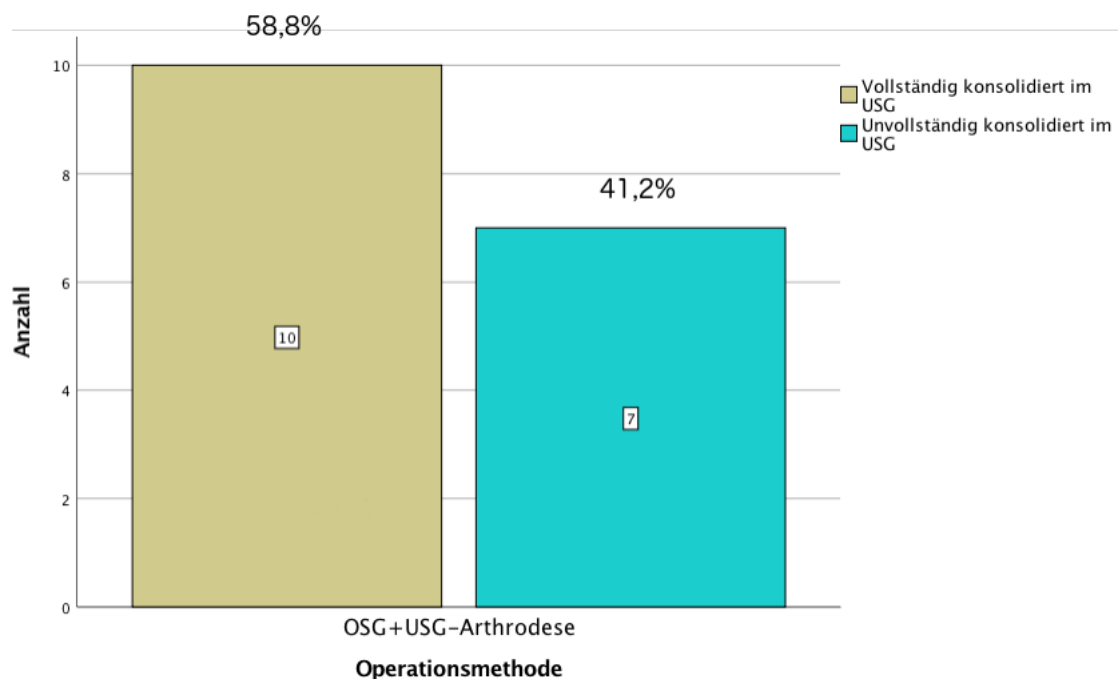
**OSG-Arthrodese:** Eine vollständige knöcherne Konsolidierung wurde bei 33 von 34 Patienten (97,1%) erzielt. Bei 1 Patienten (2,9%) konnte bei bestehender Charcot-Arthropathie keine Konsolidierung erreicht werden.

**OSG+USG-Arthrodese:** Bei 10 von 17 Patienten (58,8%) hat eine vollständige Konsolidierung im OSG und USG stattgefunden. Bei 16 von 17 Patienten (94,1%) konnte eine Konsolidierung der Arthrodese im OSG erreicht werden, wohingegen bei 10 von 17 Patienten (58,8%) eine Konsolidierung im USG erreicht wurde. Bei 7 Patienten (41,2%) blieb die Konsolidierung im USG aus. In einem Fall mit ausgebliebener Konsolidierung im OSG und USG (5,9%) bestand eine Charcot-Arthropathie. Hinsichtlich der Konsolidierungsrate im OSG bestand kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen ( $p=1,000$ ) (Abbildung 56 und 57).

Eine röntgenologisch nicht vollständig durchbaute OSG-Arthrodese ( $p=0,560$ ) oder OSG+USG-Arthrodese ( $p=0,140$ ) korrelierte nicht mit dem Ergebnis des AOFAS-Score.



**Abbildung 56:** Anzahl der konsolidierten- und nicht konsolidierten Arthrodesen im OSG: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen ( $p=1,000$ )



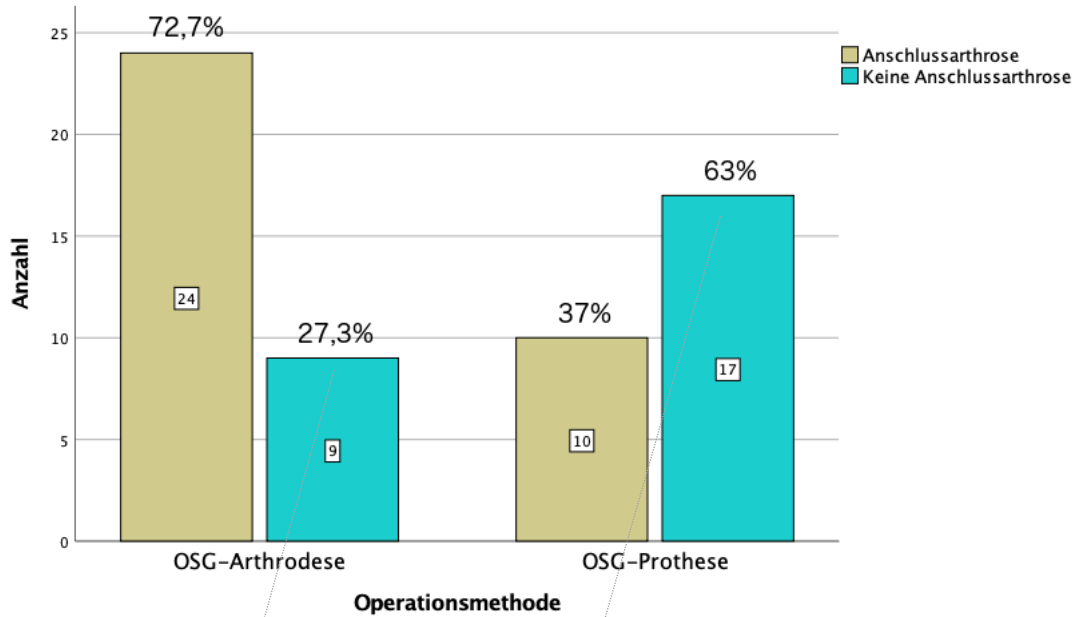
**Abbildung 57:** Anzahl der konsolidierten- und nicht konsolidierten Arthrodesen im USG

### 4.3.2 Anschlussarthroserate

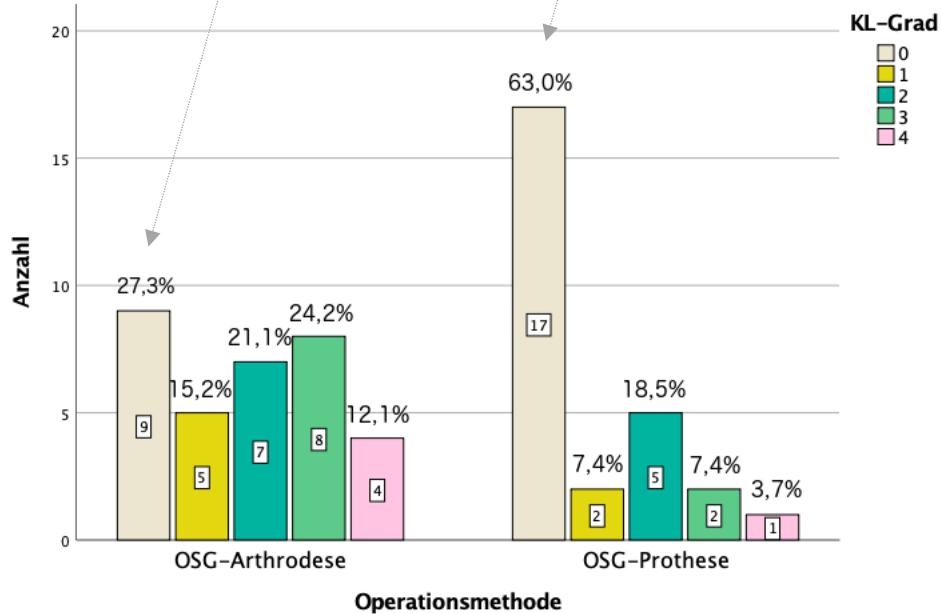
**OSG-Arthrodese:** Die Anschlussarthroserate im USG betrug 72,7% (24 Patienten). In 9 Fällen (27,3%) zeigten sich keine röntgenologischen Anzeichen für eine Anschlussarthrose im USG (KL 0). 5 Patienten (15,2%) hatten eine 1.-gradige, 7 Patienten (21,2%) eine 2.-gradige, 8 Patienten (24,2%) eine 3.-gradige und 4 Patienten (12,1%) eine 4.-gradige Anschlussarthrose im USG entwickelt. Die röntgenologische feststellbare Anschlussarthroserate in der Chopart-Gelenklinie betrug 57,6% (19 Patienten). In 14 Fällen (42,4%) konnten keine Anzeichen für eine Anschlussarthrose gefunden werden (KL 0). 1 Patient (3%) hatte eine 1.-gradige, 14 Patienten (42,4%) eine 2.-gradige und 4 Patienten (12,1%) eine 3.-gradige Anschlussarthrose in der Chopart-Gelenklinie. Die Anschlussarthroserate in der Lisfranc-Gelenklinie betrug 52,9%. Bei 16 Patienten (47,1%) konnten keine Anzeichen für eine Anschlussarthrose gefunden werden (KL 0). 6 Patienten (17,6%) hatten eine 1.-gradige, 11 Patienten (32,4%) eine 2.-gradige und 1 Patient (2,9%) eine 3.-gradige Anschlussarthrose in der Lisfranc-Gelenklinie. **OSG-Prothese:** Anschlussarthrosen kamen im USG in 37% (10 Patienten) der Fälle vor. Bei 17 Patienten (63%) konnte keine Arthrose im USG festgestellt werden (KL 0). 2 Patienten (7,4%) hatten eine 1.-gradige, 5 Patienten (18,5%) eine 2.-gradige, 2 Patienten (7,4%) eine 3.-gradige und 1 Patient (3,7%) eine 4.-gradige Anschlussarthrose im USG. Die Anschlussarthroserate in der Chopart-Gelenklinie betrug 20,7% (6 Patienten). Bei 23 Patienten (79,3%) konnten keine Anzeichen für eine Anschlussarthrose gefunden werden (KL 0). 1 Patient (3,4%) hatte eine 1.-gradige, 4 Patienten (13,8%) eine 2.-gradige und 1 Patient (3,4%) eine 4.-gradige Anschlussarthrose in der Chopart-Gelenklinie. Die Anschlussarthroserate in der Lisfranc-Gelenklinie betrug 24,1% (7 Patienten). Bei 22 Patienten (75,9%) konnten keine Anzeichen für eine Anschlussarthrose gefunden werden (KL 0). 3 Patienten (10,3%) hatten eine 1.-gradige und 4 Patienten (13,8%) eine 2.-gradige Anschlussarthrose in der Lisfranc-Gelenklinie. **OSG+USG-Arthrodese:** Die Anschlussarthroserate in der Chopart-Gelenklinie betrug 87,5% (14 Patienten). Bei 2 Patienten (12,5%) konnten keine Anzeichen für eine Anschlussarthrose gefunden werden (KL 0). 3 Patienten

(18,8%) hatten eine 1.-gradige, 8 Patienten (50%) eine 2.-gradige, 2 Patienten (12,5%) eine 3.-gradige und 1 Patient (6,3%) eine 4.-gradige Anschlussarthrose in der Chopart-Gelenklinie. Die Anschlussarthroserate in der Lisfranc-Gelenklinie betrug 64,7% (11 Patienten). Bei 6 Patienten (35,3%) konnten keine Anzeichen für eine Anschlussarthrose gefunden werden (KL 0). 2 Patienten (11,8%) hatten eine 1.-gradige und 9 Patienten (52,9%) eine 2.-gradige Anschlussarthrose in der Lisfranc-Gelenklinie.

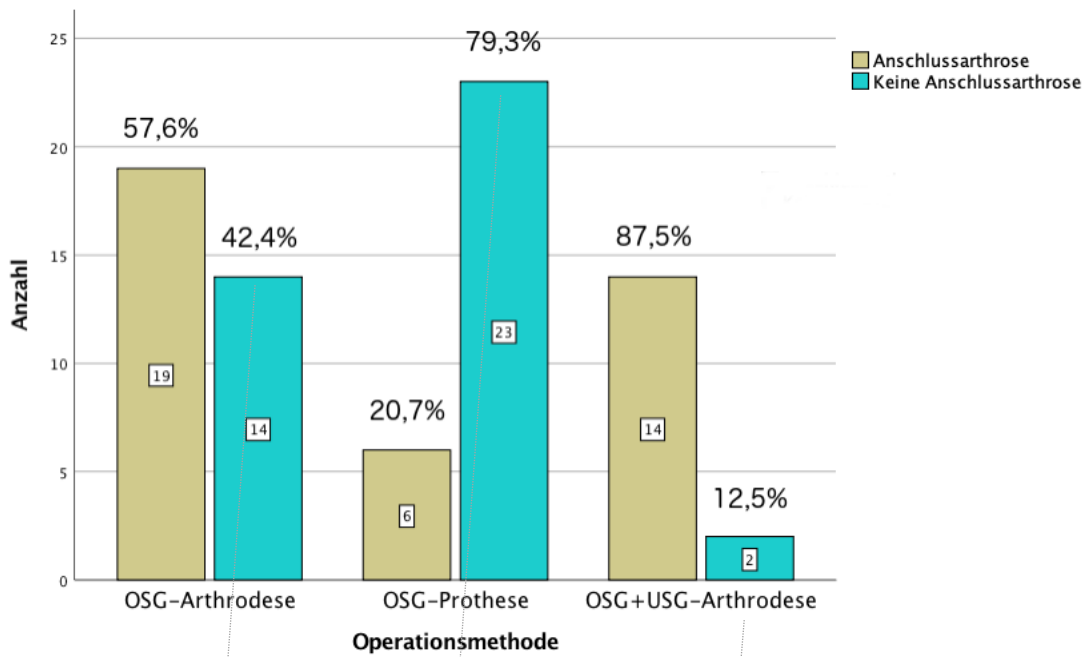
Patienten mit einem Zusatzeingriff (subtalare-, talonavikuläre- oder Triple-Arthrodesen) wurden nicht in die Statistik einbezogen. Hinsichtlich der Anschlussarthroserate im USG bestand zwischen den Gruppen OSG-Arthrodesen und OSG-Prothese ein signifikanter Unterschied ( $p=0,009$ ). Hinsichtlich der Anschlussarthroserate in der Chopart-Gelenklinie bestand ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen OSG-Arthrodesen und OSG-Prothese ( $p=0,004$ ) und den Gruppen OSG-Prothese und OSG+USG-Arthrodesen ( $p=0,001$ ). Hinsichtlich der Anschlussarthroserate in der Lisfranc-Gelenklinie bestand ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen OSG-Arthrodesen und OSG-Prothese ( $p=0,023$ ) und den Gruppen OSG-Prothese und OSG+USG-Arthrodesen ( $p=0,012$ ) (Abbildung 58-63). Das Vorhandensein höhergradiger Anschlussarthrosen (Kellgren-Lawrence Grad 3 und 4) im unteren Sprunggelenk, der Chopart- und Lisfrancgelenklinie beeinflusste die subjektive Patientenzufriedenheit ( $p=0,600$ ) und das erzielte Ergebnis im AOFAS-Score nicht signifikant ( $p=0,152$ ).



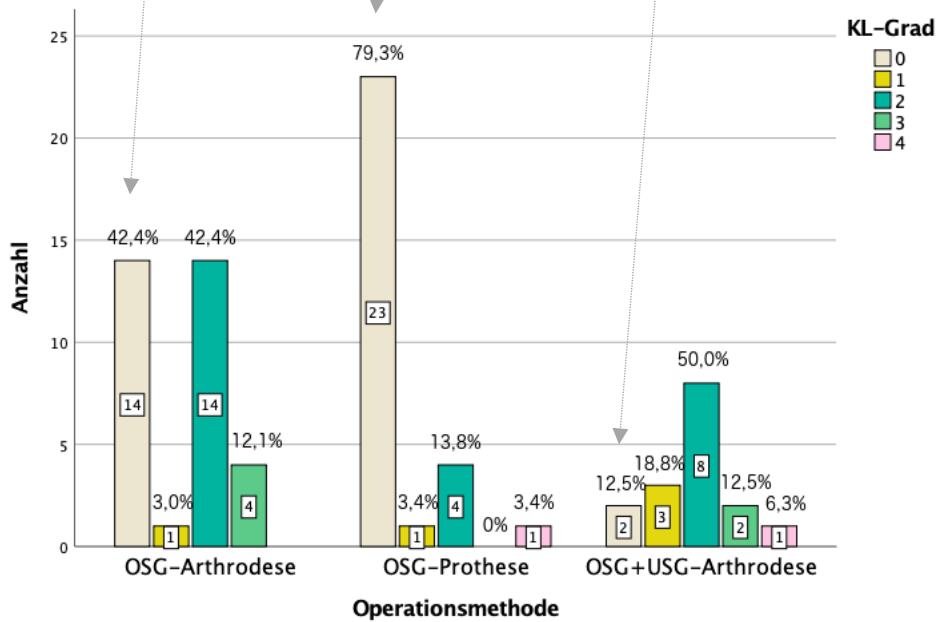
**Abbildung 58:** Eine Anschlussarthrose im unteren Sprunggelenk fand sich signifikant häufiger nach OSG-Arthrodesis ( $p=0,009$ )



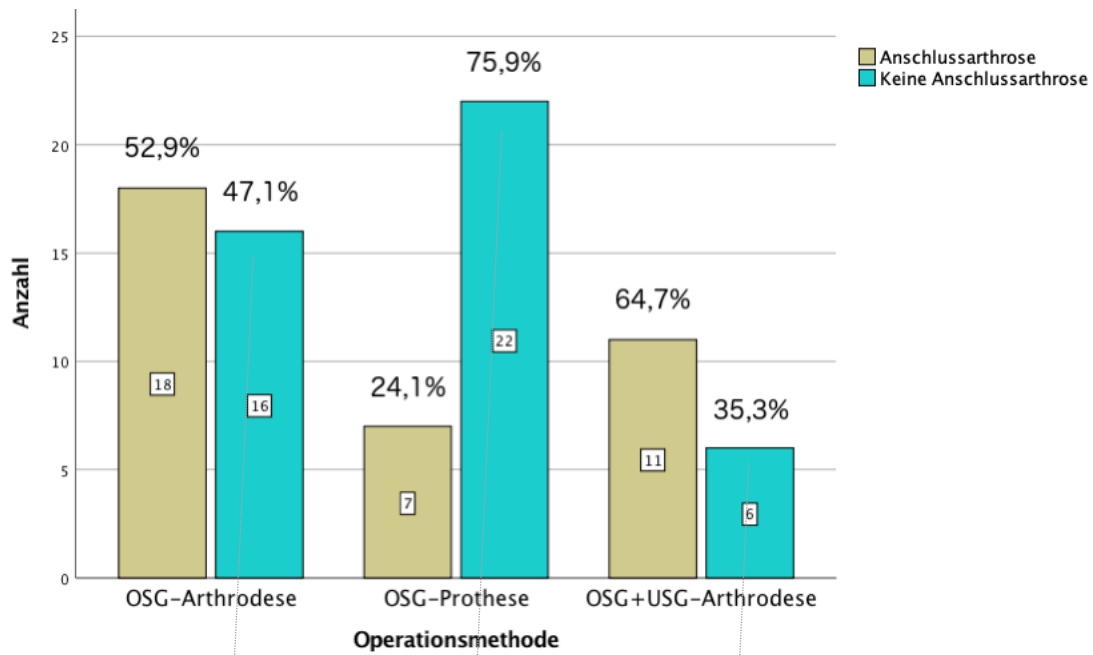
**Abbildung 59:** Anschlussarthroserate unterteilt in Arthrosegrad nach Kellgren-Lawrence – USG



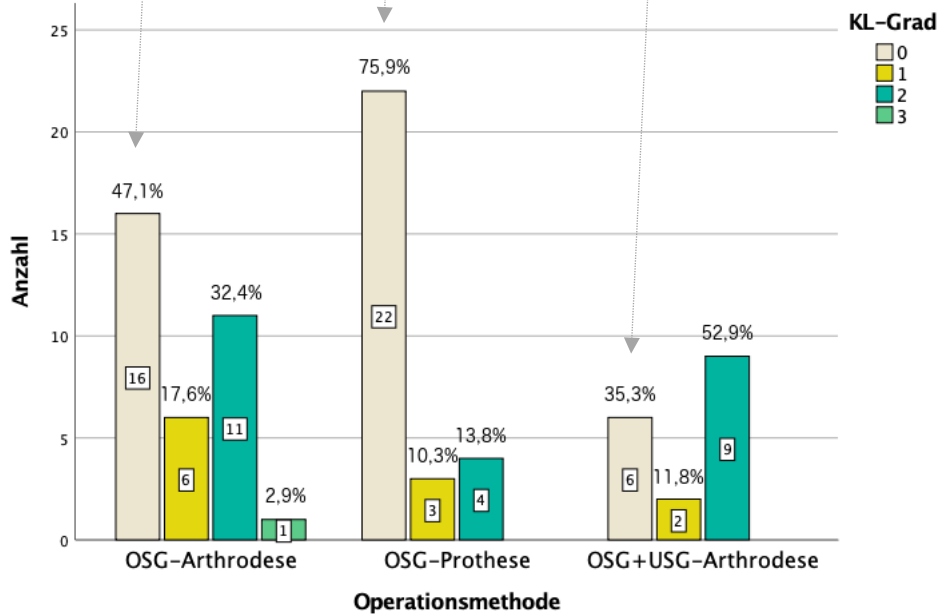
**Abbildung 60:** Eine Anschlussarthrose in der Chopart-Gelenklinie fand sich signifikant häufiger nach Arthrodesis



**Abbildung 61:** Anschlussarthroserate unterteilt in Arthrosegrad nach Kellgren-Lawrence - Chopart-Gelenklinie



**Abbildung 62:** Eine Anschlussarthrose in der Lisfranc-Gelenklinie fand sich signifikant häufiger nach Arthrodesis

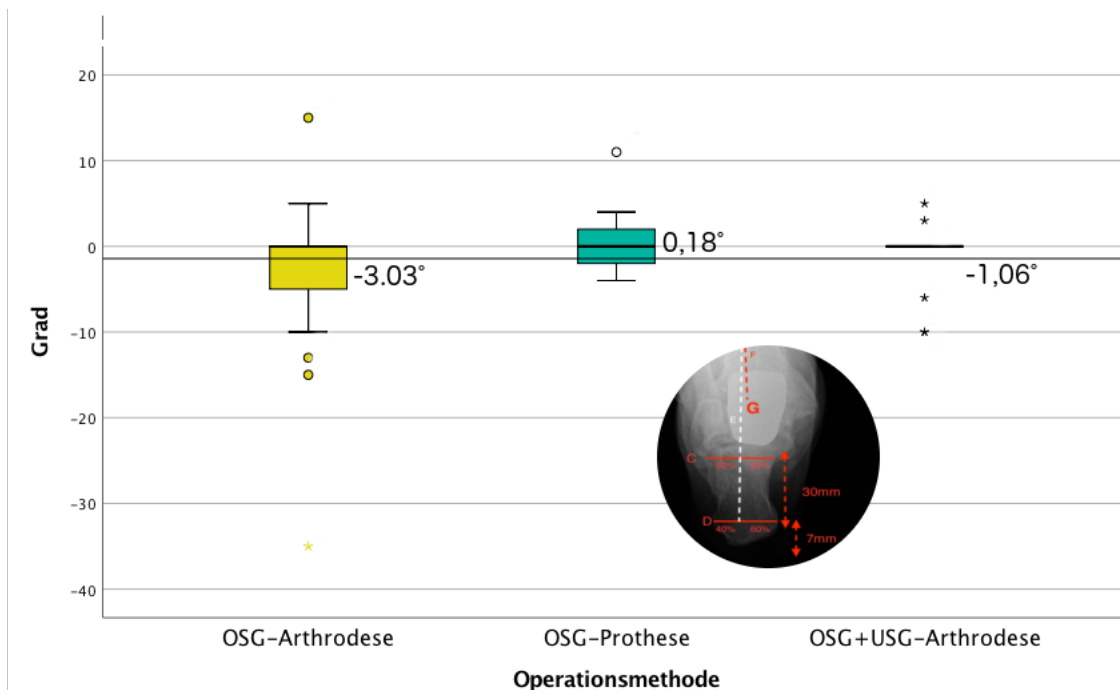


**Abbildung 63:** Anschlussarthroserate unterteilt in Arthrosegrad nach Kellgren-Lawrence - Lisfranc-Gelenklinie

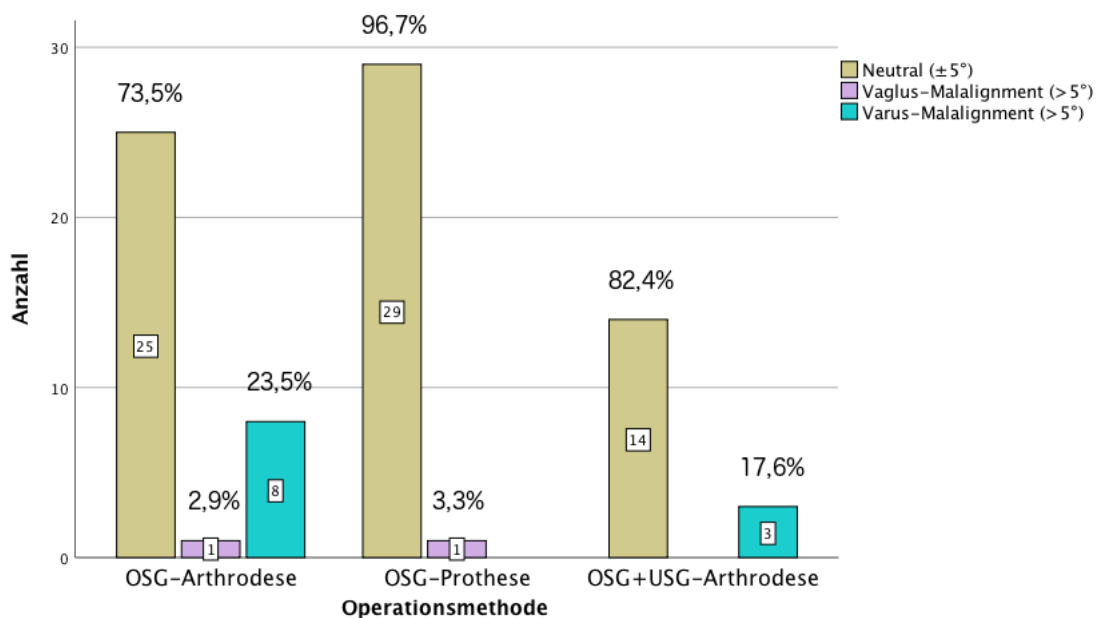
### 4.3.3 Rückfußalignment

**OSG-Arthrodesen:** Die Rückfußachse (Abbildung 35) war im Mittel  $3,03^\circ$  varisch (SD  $\pm 8,0$ ;  $-35^\circ$  Varus –  $15^\circ$  Valgus). In 73,5% der Fälle (25 Patienten) lag ein neutrales Rückfußalignment vor. Bei 23,5% (8 Patienten) lag eine varische- und bei 2,9% (1 Patient) eine valgische Rückfußachse vor. 8 Patienten (23,5%) wiesen ein varisches Malalignment zwischen  $6^\circ$ - $35^\circ$  auf. 1 Patient (2,9%) wies ein valgisches Malalignment von  $35^\circ$  auf. **OSG-Prothesen:** Im Mittel lag eine valgische Rückfußachse von  $0,18^\circ$  (SD  $\pm 3,0$ ;  $-4^\circ$  Varus –  $11^\circ$  Valgus) vor, wobei in 96,7% der Fälle (29 Patienten) eine neutrale Rückfußachse bestand. 1 Patient (3,3%) wies ein Valgus-Malalignment von  $11^\circ$  auf. **OSG+USG-Arthrodesen:** Die Rückfußachse betrug durchschnittlich  $1,06^\circ$  Varus (SD  $\pm 4,0$ ;  $-10^\circ$  Varus –  $5^\circ$  Valgus). Dabei lag in 82,4% der Fälle (14 Patienten) eine neutrale- und in 17,6% (3 Patienten) eine varische Rückfußachse vor. 3 Patienten (17,6%) wiesen ein Varus-Malalignment zwischen  $6$ - $10^\circ$  auf. Eine Überprüfung mit dem Shapiro-Wilk-Test ergab, dass die Werte innerhalb aller Gruppen nicht normalverteilt waren. Varianzhomogenität war gemäß dem Levene-Test nicht gegeben ( $p=0,003$ ). Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen, Welch-Test  $F(2, 40.36) = 2,596$ ,  $p=0,087$  (Abbildung 64 und 65). Es bestand kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem erzielten Ergebnis im AOFAS-Score und dem Rückfußalignment ( $p = 0,821$ ).





**Abbildung 64:** Rückfußachse: (-) = Varus; (+) = Valgus: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen ( $p=0,087$ )

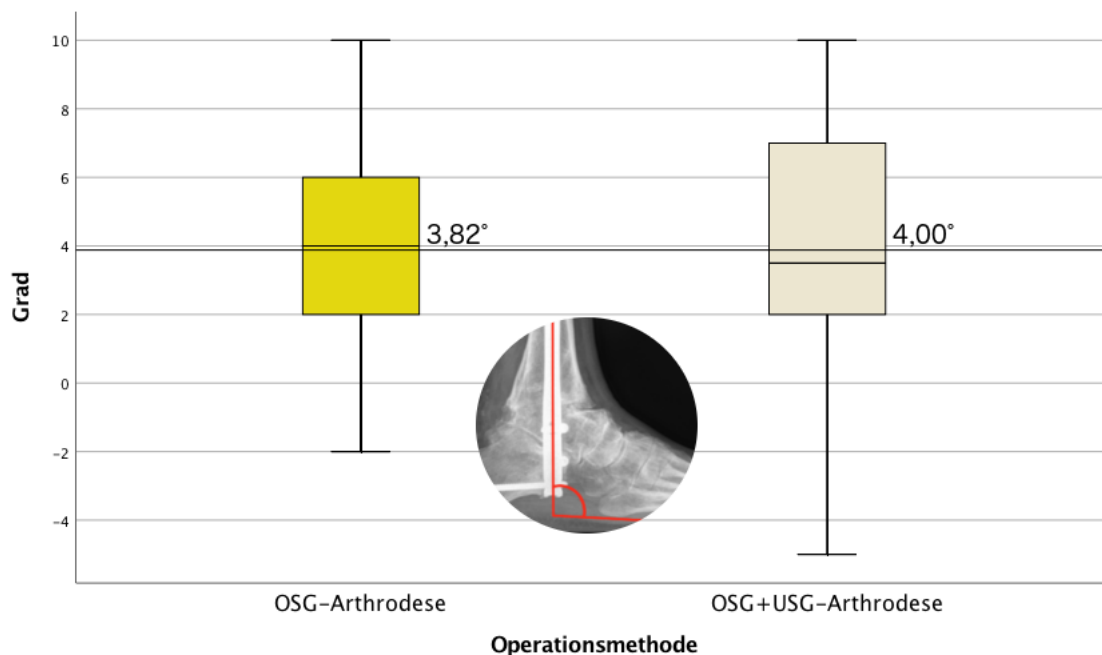


**Abbildung 65:** Postoperative Rückfußachse differenziert nach neutraler-, valgischer- und varischer Stellung

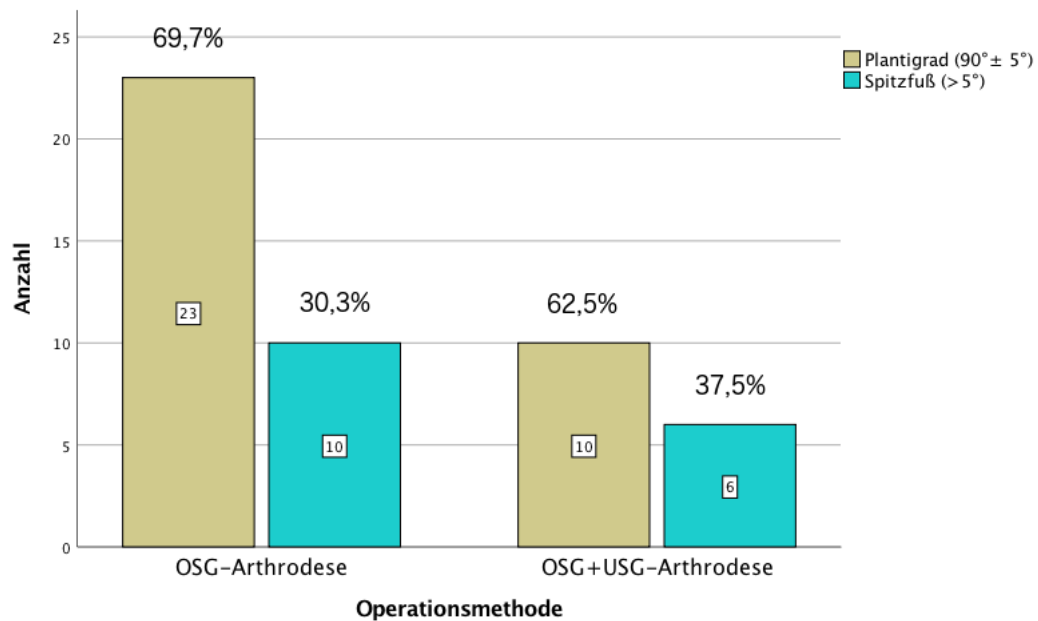
#### 4.3.4 Lateraler Dorsalextensions- bzw. Plantarflexionswinkel

**OSG-Arthrodesse:** Im Mittel wurde die Arthrodesse in 3,82° Spitzfuß (SD ± 3,4; -2° Hackenfuß – 4° Spitzfuß) eingestellt (Abbildung 36). In 69,7% (23 Patienten) wurde die Arthrodesse plantigrad eingestellt. In 30,3% der Fälle (10 Patienten) lag eine über den Toleranzbereich von 5° hinausgehende Spitzfußstellung vor.

**OSG+USG-Arthrodesse:** Im Mittel wurde die Arthrodesse in 4,00° Spitzfuß (SD ± 3,8; -5° Hackenfuß – 10° Spitzfuß) eingestellt. In 62,5% (10 Patienten) wurde die Arthrodesse plantigrad eingestellt. In 37,5% der Fälle (6 Patienten) lag eine über den Toleranzbereich von 5° hinausgehende Spitzfußstellung vor. Eine Überprüfung mit dem Shapiro-Wilk-Test ergab, dass die Werte innerhalb der beiden Gruppen normalverteilt waren. Gemäß dem Levene-Test konnte eine Homogenität der Varianzen angenommen werden ( $p=0,609$ ). Es wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Demnach bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen  $F(1,47) = 0,029$ ,  $p=0,866$  (Abbildung 66 und 67). Es bestand darüber hinaus kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem erzielten Ergebnis im AOFAS-Score und dem sagittalen Alignment in beiden Gruppen ( $p = 0,614$ ).



**Abbildung 66:** Lateraler Dorsalextensions (-) bzw. Plantarflexionswinkel (+)

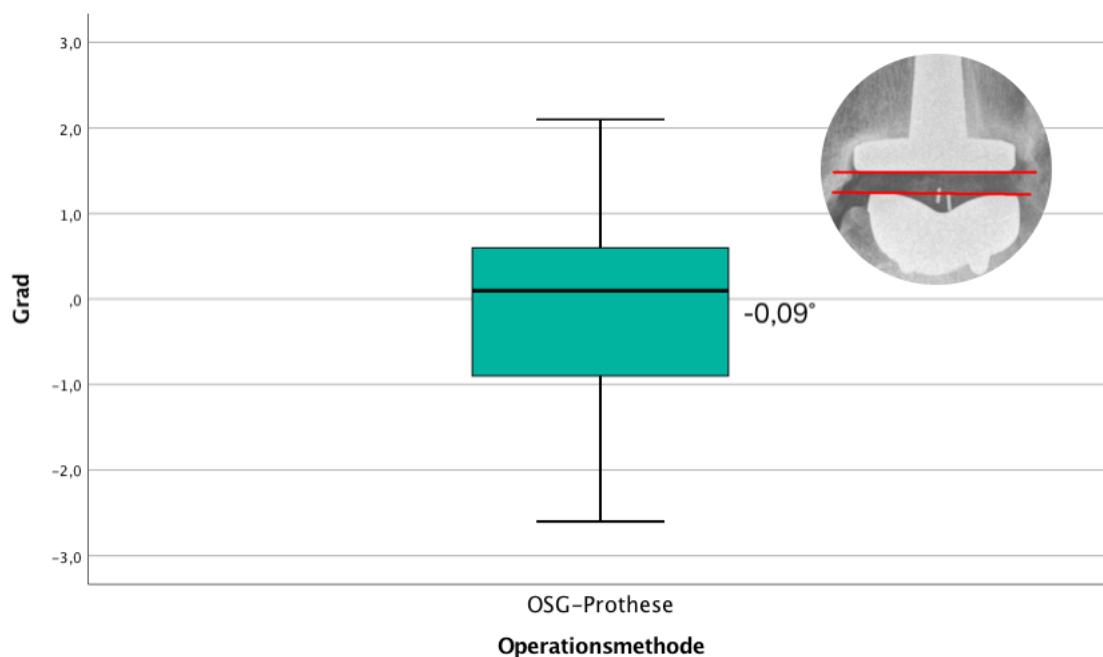


**Abbildung 67:** Anteil der in plantigrader- und übermäßiger Spitzfußstellung konsolidierten Arthrodesen: Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ( $p=0,866$ )

### 4.3.5 Alignment der Prothesenkomponenten

#### Positionierung der tibialen- und talaren Komponente zueinander in der Frontalebene

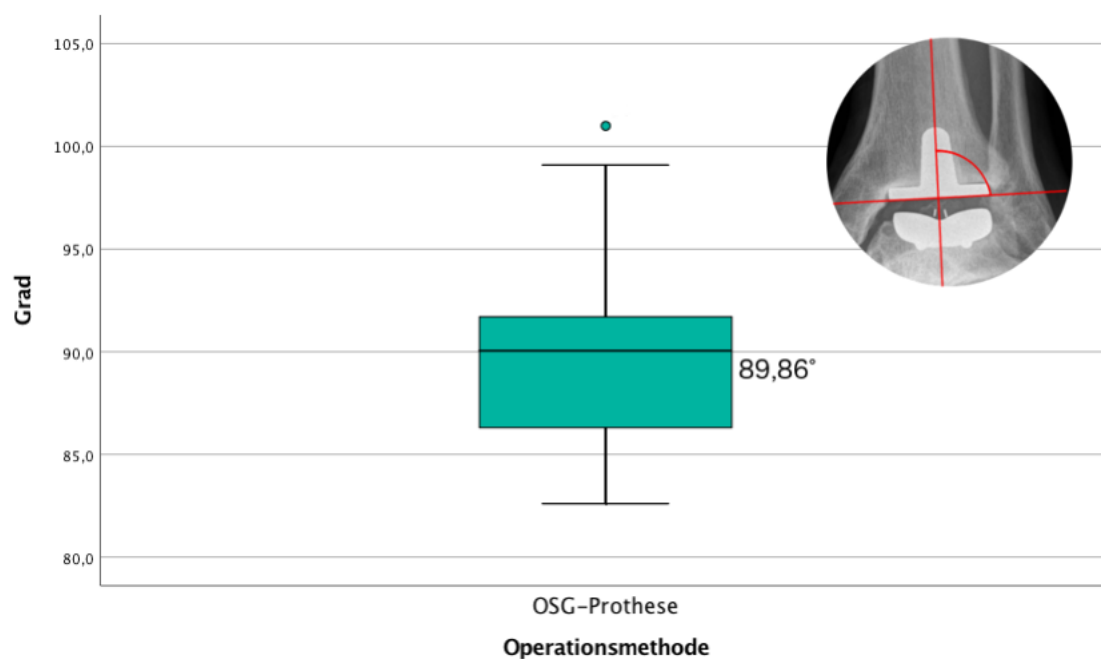
Der mittlere Winkel zwischen der tibialen- und der talaren Komponente (Abbildung 68) betrug  $0,09^\circ$  Varus (SD  $\pm 1,1$ ;  $-2,6^\circ$  Varus –  $2,1^\circ$  Valgus). Der Toleranzbereich von  $\pm 5^\circ$  wurde nicht über- bzw. unterschritten. Damit wurden die tibiale- und die talare Komponente bei allen Patienten in der Frontalebene exakt zueinander ausgerichtet (Abbildung 68). Eine Überprüfung mit dem Shapiro-Wilk-Test ergab, dass die Werte innerhalb der Gruppe normalverteilt waren.



**Abbildung 68:** Der mittlere Winkel zwischen der tibialen- und talaren Komponente im a.p. Strahlengang betrug  $0,09^\circ$  Varus: (-) = Varus, (+) = Valgus

### Positionierung der tibialen Komponente in der Frontalebene ( $\alpha$ -Winkel)

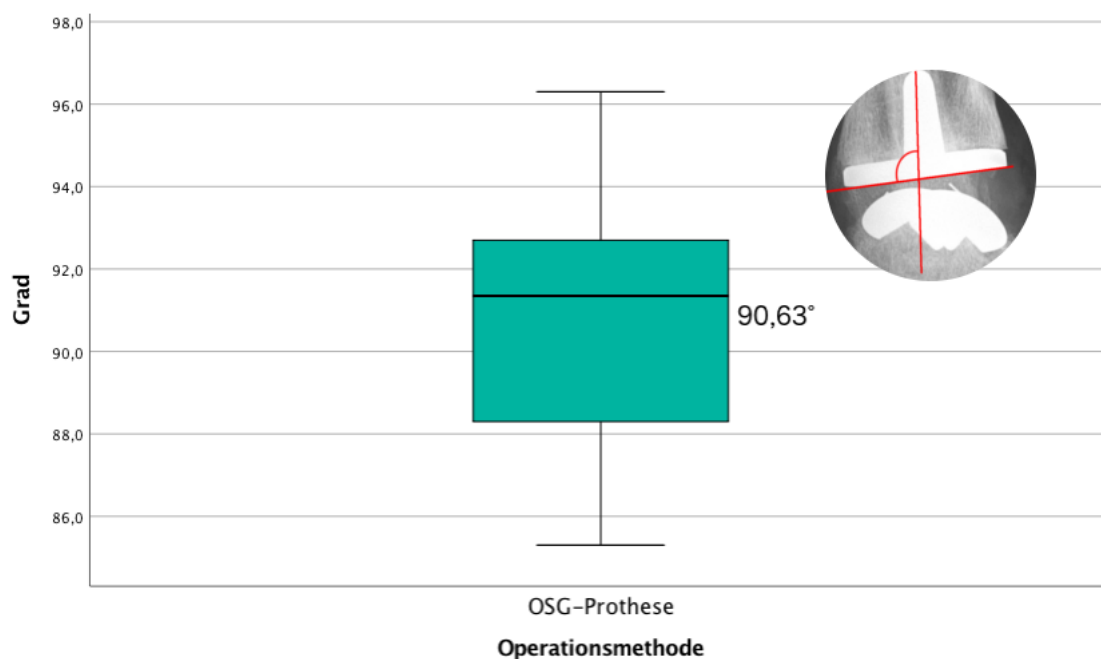
Der Winkel ( $\alpha$ ) (Abbildung 69) betrug im Mittel  $89,86^\circ$  Varus (SD  $\pm 4,53$ ;  $82,6^\circ - 101^\circ$ ). Bei 21 Patienten (70%) wurde die tibiale Komponente in der Frontalebene exakt ausgerichtet. Bei 9 Patienten (30%) lag ein varisches- (n=5; 16,7%) oder valgisches (n=4; 13,3%) Malalignment der tibialen Komponente in der Frontalebene vor (Abbildung 69). Eine Überprüfung mit dem Shapiro-Wilk-Test ergab, dass die Werte innerhalb der Gruppe normalverteilt waren.



**Abbildung 69:** Der Winkel ( $\alpha$ ) betrug im Mittel  $89,86^\circ$  Varus:  
 $<85^\circ$  = varisches Malalignment;  $>95^\circ$  = valgisches Malalignment

**Slope der tibialen Komponente in der Sagittalebene ( $\beta$ -Winkel)**

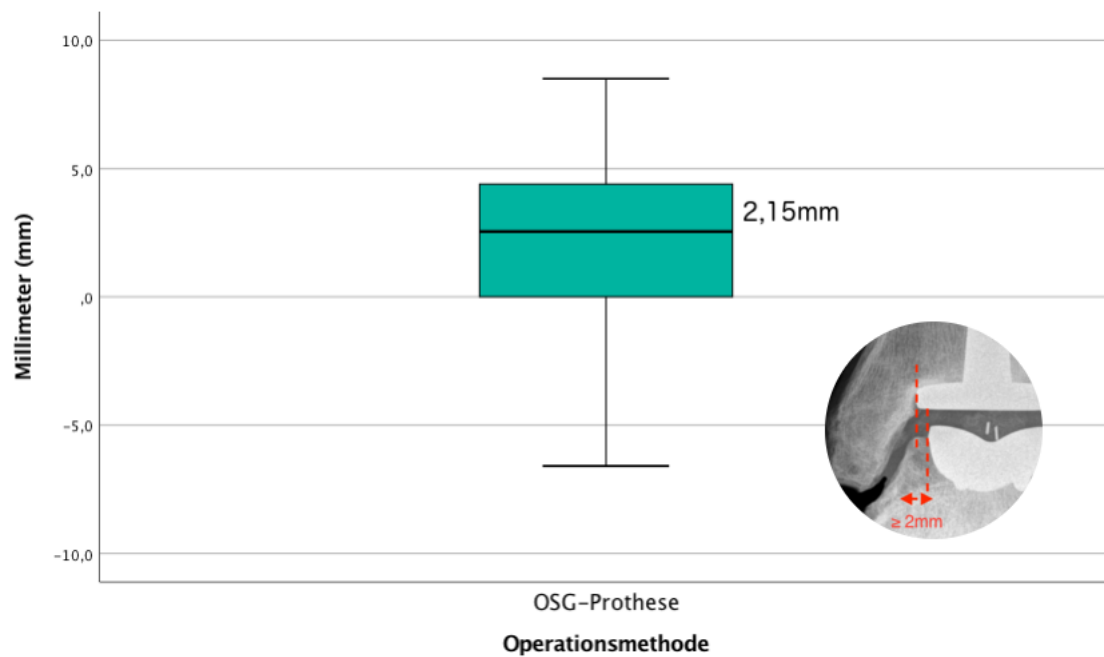
Im Mittel bestand ein posteriorer Slope der tibialen Komponente von  $90,63^\circ$  (SD  $\pm 2,9$ ;  $85,3^\circ - 96,3^\circ$ ) (Abbildung 70). Der Toleranzbereich von  $100^\circ$  bzw.  $85^\circ$  wurde nicht über- bzw. unterschritten, damit wurde die tibiale Komponente bei allen Patienten (100%) in der Sagittalebene exakt ausgerichtet (Abbildung 70). Eine Überprüfung mit dem Shapiro-Wilk-Test ergab, dass die Werte innerhalb der Gruppe normalverteilt waren.



**Abbildung 70:** Im Mittel bestand ein posteriorer Slope der tibialen Komponente von  $90,63^\circ$

### Projektion der talaren- im Verhältnis zur tibialen Komponente in der Frontalebene

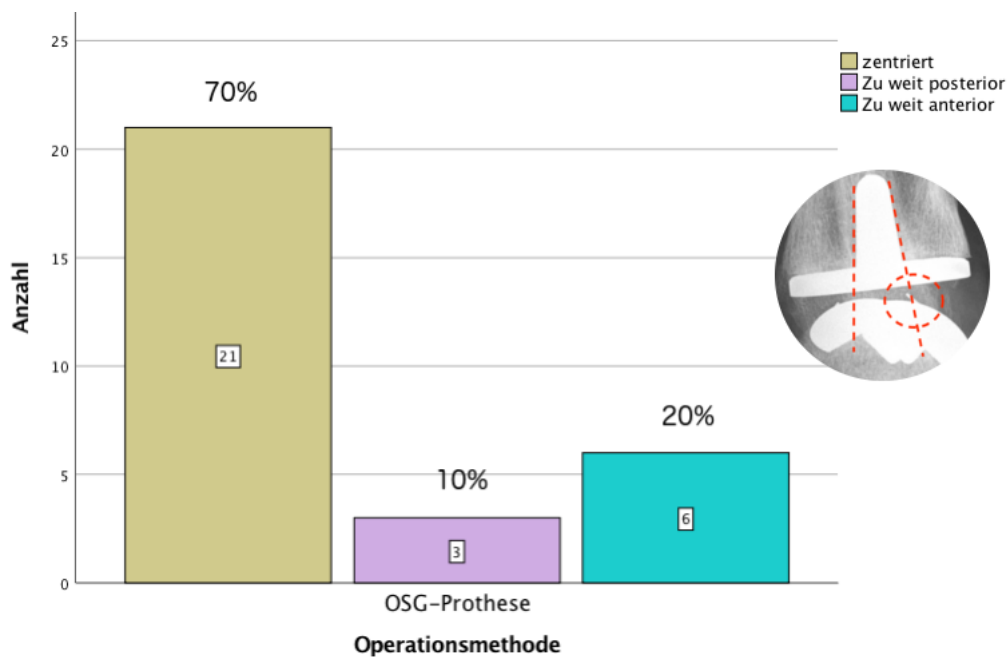
Im Mittel befand sich die talare Komponente 2,15mm zu weit lateral (SD  $\pm$  3,4; 6,6mm zu weit medial – 8,5mm zu weit lateral) (Abbildung 71). Bei 11 Patienten (36,7%) bildete sich die talare- im Verhältnis zur tibialen Komponente in der Frontalebene zentriert ab. Bei 19 Patienten (63,3%) lag ein Malalignment vor, da sich die talare Komponente >2mm zu weit lateral (n=16; 53,3%) oder medial (n=3; 10%) befand (Abbildung 71). Eine Überprüfung mit dem Shapiro-Wilk-Test ergab, dass die Werte innerhalb der Gruppe normalverteilt waren.



**Abbildung 71:** Projektion der talaren- im Verhältnis zur tibialen Komponente in der Frontalebene; (-) = zu weit medial; (+) = zu weit lateral

### Projektion der talaren- im Verhältnis zur tibialen Komponente in der Sagittalebene

Bei 21 Patienten (70%) wurde die talare- im Verhältnis zur tibialen Komponente in der Sagittalebene zentriert ausgerichtet (Abbildung 72). Bei 3 Patienten (10%) befand sie sich zu weit posterior und bei 6 Patienten (20%) zu weit anterior (Abbildung 72).



**Abbildung 72:** Projektion der talaren- im Verhältnis zur tibialen Komponente in der Sagittalebene

In Summe wurden die tibiale- und talare Komponente in 23,3% der Fälle, exakt positioniert. Bei 46,7% lag ein Malalignment der talaren-, bei 10% der tibialen- und bei 20% beider Komponenten vor.

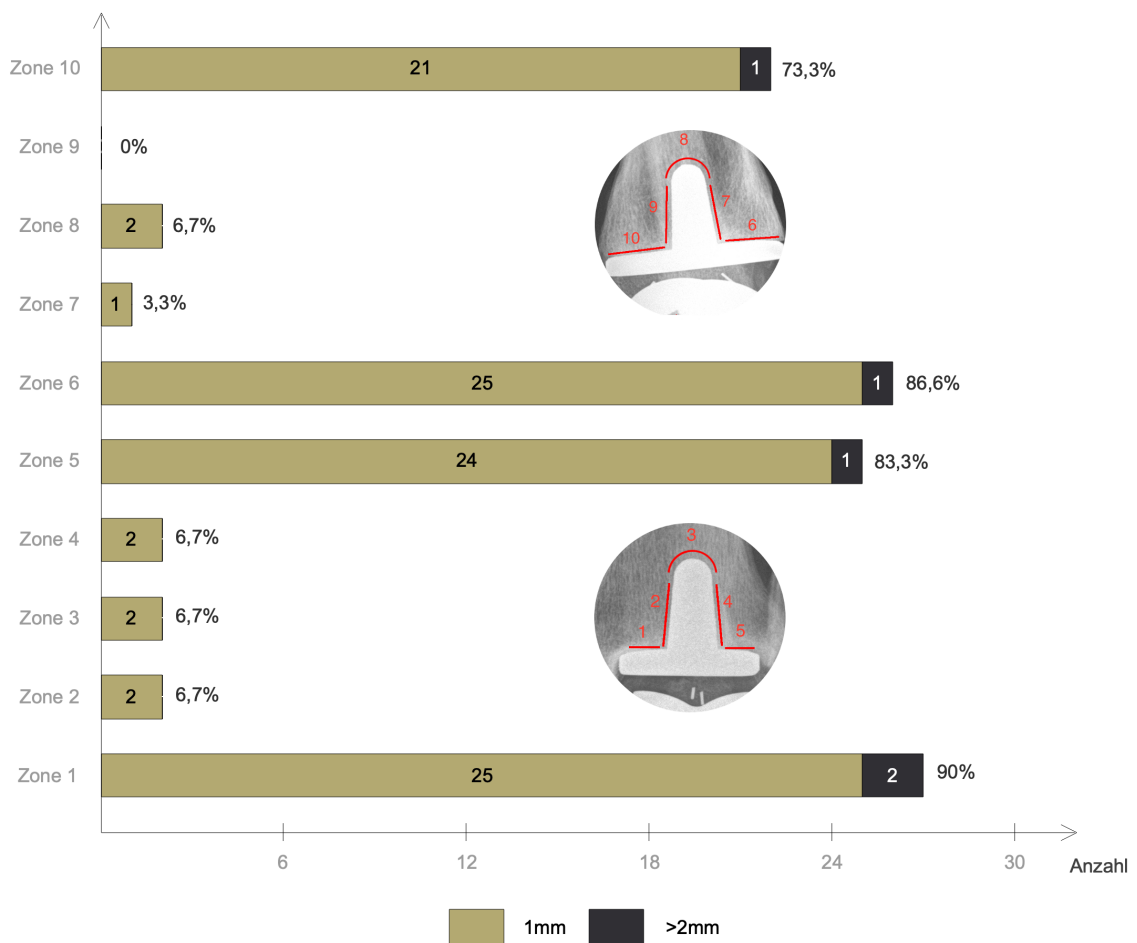


### 4.3.6 Lockerung der tibialen- und talaren Prothesenkomponente

#### Lockerung der tibialen Komponente

Abbildung 73 zeigt, dass es am häufigsten im Bereich der Platte (Zonen 1,5,6 und 10) zu einer Lockerung der tibialen Komponente kam, der Zapfen (Zone 2,3,4,7,8 und 9) war vergleichsweise selten betroffen.

In Zone 1 wurde bei 27 Patienten (90%) ein Lockerungssaum von 1mm (n=25; 83,3%) bzw. >2mm (n=2; 6,7%) festgestellt. In Zone 2 wurde bei 2 Patienten (6,7%) ein Lockerungssaum von 1mm festgestellt. In Zone 3 wurde bei 2 Patienten (6,7%) ein Lockerungssaum von 1mm festgestellt. In Zone 4 wurde bei 2 Patienten (6,7%) ein Lockerungssaum von 1mm festgestellt. In Zone 5 wurde bei 25 Patienten (83,3%) ein Lockerungssaum von 1mm (n=24; 80%) bzw. >2mm (n=1; 3,3%) festgestellt. In Zone 6 wurde bei 26 Patienten (86,6%) ein Lockerungssaum von 1mm (n=25; 83,3%) bzw. >2mm (n=1; 3,3%) festgestellt. In Zone 7 wurde bei 1 Patienten (3,3%) ein Lockerungssaum von 1mm festgestellt. In Zone 8 wurde bei 2 Patienten (6,7%) ein Lockerungssaum von 1mm festgestellt. In Zone 9 wurde bei keinem Patienten (0%) ein Lockerungssaum festgestellt. In Zone 10 wurde bei 22 Patienten (73,3%) ein Lockerungssaum von 1mm (n=21; 70%) bzw. >2mm (n=1; 3,3%) festgestellt.



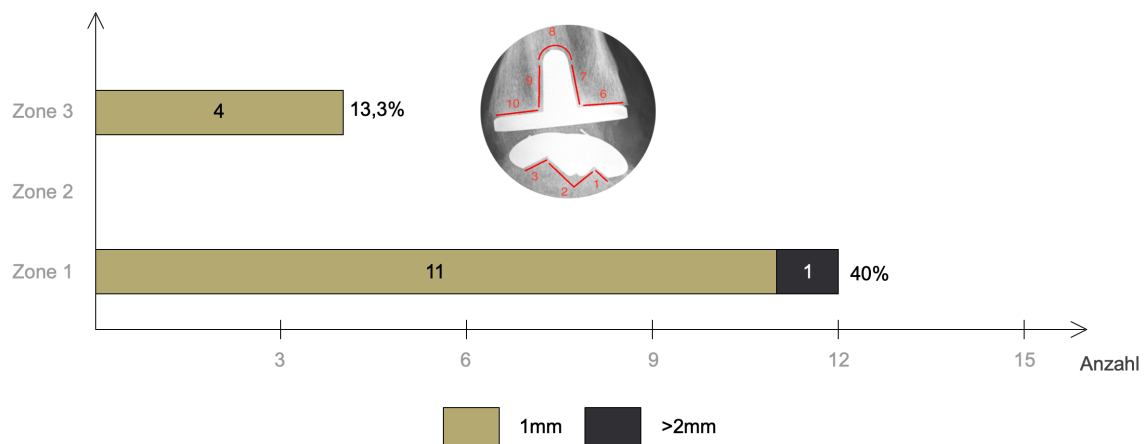
**Abbildung 73:** Häufigkeitsverteilung von Lockerungssäumen (1mm und >2mm) in den Zonen der tibialen Komponente

### Lockerung der talaren Komponente

Abbildung 74 zeigt, dass es am häufigsten in Zone 1 zu einer Lockerung der talaren Komponente kam. Keiner der Patienten wies globale Lockerungszeichen auf.

In Zone 1 wurde bei 12 Patienten (40%) ein Lockerungssaum von 1mm (n=11; 36,7%) bzw. >2mm (n=1; 3,3%) festgestellt. In Zone 2 wurde bei keinem Patienten (0%) ein Lockerungssaum festgestellt. In Zone 3 wurde bei 4 Patienten (13,3%) ein Lockerungssaum von 1mm festgestellt.

Insgesamt konnten bei allen 30 Patienten (100%) röntgenologische Lockerungszeichen der tibialen Prothesenkomponente in mindestens 1 der 10 Zonen identifiziert werden. 46,6% wiesen Lockerungszeichen der talaren Komponente auf.



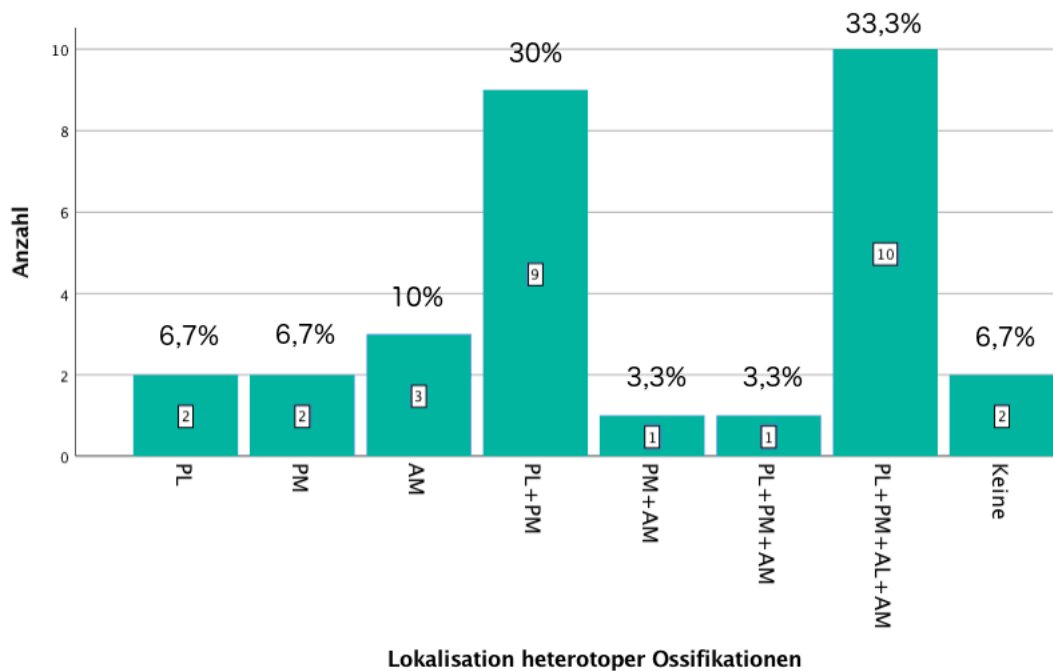
**Abbildung 74:** Häufigkeitsverteilung von Lockerungssäumen (1mm und >2mm) in den Zonen der talaren Komponente

### 4.3.7 Inzidenz heterotoper Ossifikationen

Insgesamt traten bei 28 von 30 Patienten (93,3%) heterotope Ossifikationen auf. Bei 2 Patienten (6,7%) traten diese ausschließlich posterolateral, bei 2 Patienten (6,7%) ausschließlich posteromedial und bei 3 Patienten (10%) ausschließlich anteromedial auf. Bei 9 Patienten (30%) sowohl posterolateral als auch posteromedial. Bei 1 Patienten (3,3%) sowohl posteromedial als auch anteromedial. Bei 1 Patienten (3,3%) posterolateral, posteromedial und anteromedial. Bei 10 Patienten (33,3%) konnten heterotope Ossifikationen posterolateral, posteromedial, anterolateral und anteromedial festgestellt werden. Nur 2 Patienten (6,7%) wiesen keine Ossifikationen auf (Abbildung 75). Aus Tabelle 14 geht hervor, dass höhergradige Ossifikationen insbesondere posterior auftraten. Es bestand kein Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein höhergradiger heterotoper Ossifikationen (Grad 3 oder 4) und dem erreichten Bewegungsausmaß im oberen- ( $p=0,838$ ) und unteren ( $p=0,495$ ) Sprunggelenk.

	Grad 0	Grad 1	Grad 2	Grad 3	Grad 4
Posterolateral	8	4	1	4	13
Posteromedial	6	5	2	5	12
Anteromedial	20	5	2	2	1
Anterolateral	15	7	2	2	4

**Tabelle 14:** Häufigkeit, Lokalisation und Grad der heterotopen Ossifikation anhand der von Lee und Cho modifizierten Brooker-Klassifikation bei einliegender OSG-Prothese



**Lokalisation heterotoper Ossifikationen**  
**Abbildung 75:** Lokalisation heterotoper Ossifikationen: PL=Posterolateral,  
 PM=Posteromedial, AL=Anterolateral, AM=Anteromedial

#### 4.3.8 Inzidenz periprothetischer Osteolysen

Bei 3 Patienten (10%) sind Osteolysen im Bereich des Talus aufgetreten, bei 1 Patienten (3,3%) im Bereich des Malleolus medialis und bei 1 Patienten (3,3%) in >1 Lokalisation. Es bestand kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem erzielten Ergebnis im AOFAS-Score und dem Auftreten periprothetischer Osteolysen ( $p = 0,287$ ).

## 5. Diskussion

Viele Jahre wurde die Arthrodesis als alternativloser Goldstandard in der Behandlung der oberen Sprunggelenksarthrose angesehen. Seit der Entwicklung neuer Prothesenmodelle zur 2. und 3. Generation, stellen beide konkurrenzfähige und zuverlässige Operationsverfahren in der Behandlung einer konservativ austherapierten Arthrose des oberen Sprunggelenks dar (4, 71). Das Ziel dieser Arbeit bestand in einer systematischen, vergleichenden Analyse anamnestischer-, klinischer- und radiologischer Parameter nach Sprunggelenksarthrodese und Totalendoprothese. Im Speziellen sollten dabei die nachfolgenden Fragen beantwortet werden:

- Gibt es Unterschiede hinsichtlich der erzielten Ergebnisse im AOFAS-Score?
- Kann durch die Prothesenimplantation die Inzidenz der Anschlussarthrose reduziert werden?
- Inwiefern korreliert das klinische- mit dem radiologischen Outcome?

### 5.1 Patientenkollektiv

Im Kontext mit bereits publizierten Arbeiten, ist die Fallzahl in dieser retrospektiven Studie mit  $n=81$  hoch. Schuh et al. konnten in ihrer Arbeit 41 Patienten nachuntersuchen, während Dalat et al. 54, Pedowitz et al. 68, Saltzman et al. 71, Braito et al. 141 und Krause et al. sogar 161 Patienten einschließen konnten (72-77). In einer prospektiv vergleichenden Studie haben Benich et al. Daten von 229 Patienten ausgewertet. Dabei schlossen sie Patienten mit schweren Begleiterkrankungen aus, folgten standardisierten postoperativen Nachbehandlungsschemata und stellten sicher, dass alle Operateure zuvor mindestens 30 Prothesen und 30 Arthrodeseneingriffe durchgeführt hatten. Daniels et al. werteten in einer prospektiven multizentrischen Kohortenstudie präoperativ- und 4 Jahre postoperativ erfasste

Daten von 388 Patienten aus. Dementsprechend muss den Ergebnissen dieser beiden Arbeiten eine höhere Validität, als der vorliegenden Arbeit zugestanden werden (78, 79). Von insgesamt 217 Patienten die zwischen den Jahren 2008-2015 an der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen mit einer Arthrodesen oder Prothese versorgt wurden, konnten 93 Patienten (55,4%) (73 primäre Arthrodesen, 20 primäre Prothesen) nicht eingeschlossen werden. 49 Patienten (22,6%) wurden sekundär mit einer Arthrodesen versorgt und sind nicht in die Auswertung einbezogen worden. Die Lost-to-Follow-up-Rate dieser Studie lag damit ca. 15% über dem Durchschnitt anderer Studien (72-76). Unter den retrospektiv vergleichenden Level III Studien liegt die vorliegende Studie bezüglich der Fallzahl im oberen Mittelfeld. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass aufgrund des Verhältnisses zwischen Fallzahl und des vergleichsweise hohen Drop-outs ein Bias vorliegen könnte. Es nahmen mehr Männer (n=52, 64,2%) als Frauen (n=29, 35,8%) an der Studie teil, wobei die Geschlechterverteilung innerhalb der einzelnen Gruppen nahezu ausgeglichen war. Andere Autoren machten vergleichbare Beobachtungen. Das Durchschnittsalter der Patienten, die mit einer Prothese versorgt wurden, betrug zum Zeitpunkt der Operation im Mittel 50,7 Jahre. Damit waren sie 6,5 Jahre jünger als jene die mit einer Arthrodesen (56,9 Jahre) versorgt wurden. In der Literatur lag das durchschnittliche Alter bei Prothesenimplantation bei 61,9 Jahren (51-68 Jahre), während Arthrodesen durchschnittlich im Alter von 57,7 Jahren (50-66 Jahre) durchgeführt wurden. Eine kondensierte Übersicht ist der Tabelle 15 zu entnehmen. Dabei fällt auf, dass das vorliegende Patientenkollektiv zum Zeitpunkt der Prothesenimplantation durchschnittlich 10 Jahre jünger war. Gemeinhin gilt die Arthrodesen als Verfahren der Wahl bei jungen Patienten mit hohem Aktivitätsanspruch, während die Prothese älteren Patienten (>60 Jahre) mit geringerem Aktivitätsanspruch, intaktem Bandapparat ohne höhergradige Achsfehlstellungen vorbehalten ist. In den vergangenen Jahren konnte eine Indikationserweiterung zu Gunsten jüngerer Patienten beobachtet werden (34). Letztendlich muss die Entscheidung individuell unter Beachtung des Alters, des Aktivitätsanspruches sowie der knöchernen- und weichteiligen Situation

getroffen werden (4, 14, 47). Im Mittel wurden die Patienten 3,8 Jahre postoperativ nachuntersucht. Diesbezüglich unterschieden sich die Gruppen OSG-Prothese (4,5 Jahre) und OSG+USG-Arthrode (2,9) Jahre signifikant voneinander. Patienten mit einer OSG-Arthrode wurden durchschnittlich 3,7 Jahre später nachuntersucht. In der Literatur wurden prothetisch als auch mit einer OSG-Arthrode versorgte Patienten im Mittel 3,4 Jahre, Patienten mit einer OSG+USG-Arthrode 2,5 Jahre postoperativ nachuntersucht (Tabelle 15). Die vorliegende Arbeit bildet die mittelfristig zu erwartenden und demnach mit der aktuellen Literatur vergleichbaren Ergebnisse beider Operationsverfahren ab. Mit Blick auf die häufigen Komplikationen beider Verfahren, im Besonderen die Entstehung und Progression von Anschlussarthrosen und die Lockerung der Prothesenkomponenten, wären weitere Untersuchungen zu späteren Zeitpunkten von großem Interesse.



Soohoo et al. (80)	Evidenzlevel III, therapeutisch	Jahr 2007	n 5185 (AA = 4705 TAR = 480)	Drop-out 0 (0%)	Geschlecht AA = 2447M; 2258W TAR = 235M; 245W	Ø Alter (Jahre) AA = 55,0 TAR = 59,0	Ø Follow-up (Jahre) AA = 5 TAR = 5	Ursache der Arthrose AA = 48%P; 9%RA; 2%ON TAR = 57%P; 10%RA; 0,8%ON	Operationsverfahren -
Saltzman et al. (81)	II, prospektiv kontrolliert	2009	659 (AA = 66 TAR = 593)	0 (0%)	AA = 30M; 36W TAR-Pivotal = 78M; 80W TAR-Pivotal = 63,2	AA = 57,1 TAR-Pivotal = 63,2	-	AA - Pivotal = 28,8%P; 65,2%PT; 6,5%RA TAR-Pivotal = 39,2%P; 48,1%PT; 12,7%RA TAR-Controlled-Access = 21,8%P; 61,8%PT; 7,1%RA; 9,2%O	AA = SA TAR = STAR
Slobogean et al. (82)	II, prospektiv	2010	107 (AA = 46 TAR = 61)	0 (0%)	TAR-Controlled-Access = 179M; 256W AA = 29M; 16W TAR = 28M; 32W	AA = 54,0 TAR = 62,0	AA = 1 TAR = 1	EA	-
Saltzman et al. (75)	III, retrospektiv	2010	71 (AA = 29 TAR = 42)	67 (48,5%)	AA = 15M; 8W TAR = 20M; 17W	AA = 64,0 TAR = 56,2	AA = 4,8 TAR = 3,8	AA = 73,9%P; 26,1%PT TAR = 54,1%P; 45,9%PT	AA = 14 SA; 10 SA/PA; 3 FE TAR = STAR
Krause et al. (76)	III, retrospektiv	2011	161 (AA = 47 TAR = 114)	355 (31%)	AA = 32M; 15W TAR = 63M; 51W	AA = 68,5 TAR = 64,2	AA = 3,0 TAR = 3,2	AA = 26%P; 60%PT; 15%RA TAR = 12%P; 54%PT; 33%RA	AA = ? TAR = 61 AGILITY; 22 HINTEGRA; 16 STAR; 15 MOBILITY
Esparragoza et al. (83)	II, prospektiv	2011	30 (AA = 16 TAR = 14)	0 (0%)	AA = 10M; 8W TAR = 6M; 8W	AA = 61,0 TAR = 64,0	AA = 2,1 TAR = 2,1	AA = 25%P; 50%PT; 12,5%RA; 12,5%ON TAR = 42,9%P; 42,9%PT; 14,3RA; 0%ON	AA = 4 SA; 10 FE; 2 NA TAR = AES
Schuh et al. (74)	III, retrospektiv	2011	41 (AA = 21 TAR = 20)	22 (85%)	AA = 8M; 12W TAR = 11M; 10W	AA = 63,8 TAR = 56,2	AA = 2,5 TAR = 3,3	EA	AA = SA TAR = HINTEGRA
Dalat et al. (72)	III, retrospektiv	2014	54 (AA = 22 TAR = 32)	51 (48%)	AA = 15M; 7W TAR = 19M; 13W	AA = 50,1 TAR = 51,4	AA = 4,8 TAR = 4,4	AA = 95%PT; 5%RA TAR = 91%PT; 9%RA	AA = SA TAR = AES
Braitto et al. (77)	III, retrospektiv	2014	141 (AA = 40 TAR = 101)	0 (0%)	-	-	AA = 3,4 TAR = 4,2	EA	AA = SA TAR = HINTEGRA
Daniels et al. (78)	II, prospektiv	2014	388 (AA = 107 TAR = 281)	67 (17,3%)	AA = 64M; 43W TAR = 153M; 128W	AA = 54,8 TAR = 64,1	AA = 5,2 TAR = 5,6	EA	AA = ? TAR = 69 AGILITY; 85 STAR; 57 MOBILITY; 70 HINTEGRA
Jastifer et al. (84)	II, prospektiv	2014	77 (AA = 16 TAR = 61)	0 (0%)	-	AA = 60,2 TAR = 65,2	AA = 1 TAR = 1	AA = 87,5%PT; 12,5%RA TAR = 82%PT; 18%RA	AA = PA TAR = STAR
Jiang et al. (85)	III, Vergleichende Serie	2014	15252 (AA = 12250 TAR = 3002)	0 (0%)	AA = 6206M; 5946W TAR = 1378M; 1603W	AA = 55,7 TAR = 61,2	-	AA = 65,9%P; 29,8%PT; 6,2%RA TAR = 76,8%P; 28,4%PT; 9,9%RA	-
Younger et al. (86)	II, prospektiv	2015	687 (AA = 204 TAR = 450)	65 (9,5%)	AA = 125M; 79W TAR = 223M; 227W	AA = 55,0 TAR = 63,2	AA = 4,8 TAR = 5,3	EA	AA = SA; PA; NA TAR = AGILITY; STAR; MOBILITY; HINTEGRA
Stavrakis et al. (87)	III, therapeutisch	2016	9771 (AA = 8491 TAR = 1280)	0 (0%)	AA = 4500M; 3991W TAR = 627M; 653W	AA = 66,0 TAR = 68,0	-	EA	-
Pedowitz et al. (73)	III, retrospektiv	2016	68 (AA = 27 TAR = 41)	43 (43%)	AA = 14M; 13W TAR = 17M; 24W	AA = 55,0 TAR = 65,0	AA = 3,4 TAR = 2,8	EA	AA = ? TAR = SALTO
Odum et al. (88)	III, therapeutisch	2017	3148 (AA = 1574 TAR = 1574)	0 (0%)	AA = 890M; 684W TAR = 890M; 684W	AA = 56,0 TAR = 62,0	-	AA = 68,5%P; 19,1%PT; 2%RA; 10,4%O TAR = 68,5%P; 19,1%PT; 2%RA; 10,4%O	-
Benich et al. (79)	II, prospektiv	2017	229 (AA = 78 TAR = 151)	44 (21%)	AA = 61M; 42W TAR = 89M; 81W	AA = 57,4 TAR = 64,4	AA = 3 TAR = 3	AA = 60%PT; 41%O TAR = 63%PT; 36%O	AA = ? TAR = 103 SALTO; 58 AGILITY; 9 INBONE
Diese Studie	III, retrospektiv	2019	81 (AA = 34 TAR = 30 OSG+USG-A = 17)	97 (55,4%)	AA = 33M; 18W TAR = 19M; 11W	AA = 56,7 TAR = 50,7	AA = 3,7 TAR = 4,5 OSG+USG-A = 2,9	AA = 3,9%P; 83,7%PT; 4,1%ON; 12,3%O TAR = 13,3%P; 86,6%PT	AA = 11 SA; 23 FE TAR = MOBILITY OSG+USG-AA = 16 NA; 1 FE

Tabelle 15: Demografische Daten vergleichender Studien 2004-2018

AA = OSG-Arthrose; TAR = Prothese; M = Männlich; W = Weiblich; RA = Rheumatoide Arthritis; ON = Osteonekrose; P = Primäre Arthrose; PT = Posttraumatische Arthrose; EA = Endgradige Arthrose; SA = Schraubendarthrose; SA/PA = Schrauben- und Plattenarthrose; FE = Fixateur externe; NA = Nagelarthrose; O = Andere

**Ursache der Arthrose:** 6 Patienten (7,4%) wurden präoperativ mit einer primären-, 75 Patienten (92,6%) mit einer sekundären Arthrose diagnostiziert. Bei 67 Patienten (89,3%) konnte die Entstehung der sekundären Arthrose auf ein traumatisches Ereignis zurückgeführt werden. Nur 2 Patienten (2,6%) hatten eine aseptische Knochennekrose und 2 weitere (2,6%) eine angeborenen bzw. erworbenen Fußfehlstellung. Bei den verbleibenden 4 Patienten (5,3%) wurden andere Ursachen der Arthrose objektiviert. Diesbezüglich lagen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen vor. In 6 der vergleichenden Studien, die seit 2004 veröffentlicht wurden, machten die Autoren detaillierte Angaben zur Genese der Sprunggelenksarthrose. In 17,5% lag eine primäre Arthrose, in 61,8% eine posttraumatische Arthrose, in 10% eine Arthrose auf dem Boden einer rheumatoiden Arthritis, in 0,2% durch eine aseptische Knochennekrose und in 10% eine durch andere Einflüsse verursachte Arthrose vor (72, 76, 79, 81, 83, 84). In keiner der Arbeiten unterschieden sich beide Gruppen signifikant voneinander. Unsere Erfahrungen decken sich mit denen der gegenwärtigen Literatur. Interessanterweise gibt es zum Teil erhebliche Abweichungen zwischen den einzelnen Studien (siehe Anhang 8.5). Jiang et al. konnten 2014 in einer großen vergleichenden Serie Daten von 15252 Patienten auswerten (85). Hinsichtlich der Diagnose unterscheiden sich die Ergebnisse in Bezug auf die Häufigkeit einer primären- (Ø 71,3%) und posttraumatischen Arthrose (Ø 29,1%) von denen anderer Studien. Hingegen gibt es 7 Publikationen, die keine spezifische Entität der Sprunggelenksarthrose berücksichtigen (73, 74, 77, 78, 82, 86, 87). Valderrabano et al. erforschten 2008 anhand von 406 Fällen die Ursachenhäufigkeiten der Sprunggelenksarthrose. Die Inzidenzen dieser Arbeit entsprechen weitgehend unseren Ergebnissen (37). Nicht selten werden Patienten mehrere Diagnosen attestiert. Beispielsweise kann neben einer posttraumatischen Arthrose auch eine rheumatoide Arthritis vorliegen. Ein Studien-Bias kann auch durch bewusste Patientenselektion resultieren, wie aus den Arbeiten von Odum et al. und SooHoo et al. deutlich wird (80, 88). In jedem Fall lassen vergleichende Studien von Arthrodesen und Prothesen keine genauen Rückschlüsse über die Ursachenhäufigkeit einer

Sprunggelenksarthrose zu. Dennoch zeigt sich, dass die Indikation für beide Verfahren in den meisten Fällen auf der Grundlage einer konservativ austherapierten, posttraumatischen Arthrose gestellt wurde. Derzeit stellt dies die häufigste Ursache einer Sprunggelenksarthrose dar (37).

**Operationsverfahren:** Eine OSG-Arthrodese wurde bei 11 Patienten (32,4%) mit Schrauben und bei 23 Patienten (67,6%) mit einem externen Fixateur durchgeführt. Eine OSG+USG-Arthrodese wurde bei 16 Patienten (94,1%) als retrograde Nagelarthrodese und bei 1 Patienten (5,9%) mit einem externen Fixateur durchgeführt. Bei günstiger Ausgangssituation, d.h. bei nur geringgradigen Achsabweichungen und guten Weichteilverhältnissen ist die Schraubenarthrodese das bevorzugte Verfahren zur Durchführung einer primären OSG-Arthrodese. Es ist kostengünstig und die Schrauben können über perkutane Stichinzisionen ohne großen Weichteilschaden eingebracht werden. Eine Nagelarthrodese kommt bei komplexen Fehlstellungen, einer gleichzeitig bestehenden Arthrose des unteren Sprunggelenks oder bei Pseudarthrose einer Primärversorgung zum Einsatz. Eine Arthrodese durch einen Fixateur ist bei komplexen Infektsituationen indiziert. Die Wahl des richtigen Verfahrens ist maßgeblich für den Erfolg einer Arthrodese (4). In den letzten Jahren wurden in spezialisierten Zentren zunehmend arthroskopisch assistierte Arthrodesen durchgeführt (AAA). Park et al. publizierten hierzu einen Übersichtsartikel. Darin werden im Vergleich zu den offenen Arthrodeseverfahren weniger Komplikationen, bei geringerem Blutverlust, kürzeren stationären Verweildauern und vergleichbaren Fusionsraten berichtet (4, 89). Für die Implantation einer Prothese wurde bei allen Patienten der vorliegenden Studie (100%) die MOBILITY™ der Fa. Depuy Synthes verwendet. Eine unzementierte, Prothese der 3. Generation mit einem mobilen Polyethyleninlay und einem porösen Kobalt-Chrom Überzug. Neben dem Modell HINTEGRA® und STAR® gehört dieses Modell derzeit zu den am häufigsten verwendeten Prothesenmodellen (3). Fast alle heute erhältlichen Prothesenmodelle werden über einen ventralen Zugang implantiert. Die Abfolge der Resektionsschritte und das Resektionsausmaß richten sich nach dem gewählten Modell (4). Im Grundsatz kommen für beide Verfahren weltweit die

gleichen Implantate und Techniken zum Einsatz. Eine detaillierte Literaturrecherche macht deutlich, dass Abweichungen der genauen Vorgehensweisen realisiert werden. Daher sollten direkte Schlussfolgerungen hinsichtlich der Studienergebnisse sorgfältig abgewogen werden.

**Intraoperative Komplikationen:** Während der Prothesenimplantation kam es intraoperativ bei zwei Patienten (2,5%) zu einer versorgungspflichtigen Fraktur des Innenknöchels und bei 1 Patienten (1,2%) zu einer Fraktur des Außenknöchels. Bei den mit einer Arthrodesese versorgten Patienten wurden intraoperativ keine Komplikationen beobachtet. Die Komplikationsraten beider Verfahren unterscheiden sich in der Literatur. Diesbezüglich werden Frakturen, Nervenläsionen, Malalignment, Infektionen, Implantatlockerungen, Impingement, Polyethylenabnutzung oder -bruch, Pseudarthrosen und Osteolysen aufgeführt. In der vorliegenden Studie wurden intraoperativ- von postoperativ aufgetretenen Komplikationen differenziert. In 4 vergleichenden Studien wird über intraoperative Frakturen des Innen- und Außenknöchels berichtet. 45 (13,7%) traten dabei während der Implantation einer Prothese auf, nur 3 (1,9%) während der Durchführung einer OSG-Arthrodesese (75, 76, 81, 83). Die Implantation einer OSG-Prothese ist eine technisch anspruchsvolle Operation. Je nach Modell müssen unterschiedlich große Anteile der Tibia, Fibula und des Talus unter Verwendung des Resektionsinstrumentariums ausgesägt werden. Wird hierbei nicht exakt gearbeitet, kann es leicht zu Frakturen kommen.

**Revisionseingriffe:** Die Revisionsrate der OSG-Arthrodesen betrug innerhalb des Nachuntersuchungszeitraumes 20,6% (7 Patienten). Zu den Ursachen zählten in 4 Fällen (11,8%) eine Infektsituation, in 2 Fällen (5,9%) eine Implantatfehlage und in 1 Fall (2,9%) persistierende Schmerzen. Die Revisionsrate der OSG-Prothesen betrug 26,7% (8 Fälle) und konnte in 4 Fällen (13,3%) auf einen Infekt und bei 4 weiteren (13,3%) auf Bewegungseinschränkungen zurückgeführt werden. Die Revisionsrate der OSG+USG-Arthrodesen betrug 17,6% (3 Patienten). In 2 Fällen (11,8%) war eine Infektsituation und in 1 Fall (5,9%) eine Fehllage der proximalen Verriegelungsschraube des Nagels ursächlich. Die Ergebnisse des AOFAS-

Score wurden durch Revisionseingriffe in keiner der Gruppen signifikant beeinflusst. Bis auf Saltzman et al. wurden von allen Autoren auch ältere Prothesenmodelle der 2. Generation (AGILITY®) in die Auswertung einbezogen. Das muss bei einem Vergleich der Ergebnisse berücksichtigt werden. Beispielsweise beliefen sich in der Arbeit von Krause et al. 8 (7%) der 20 Revisionen (n=114) auf Patienten die mit dem Prothesenmodell AGILITY® versorgt wurden, allesamt aufgrund einer aseptischen Lockerung. Interessanterweise bestand kein signifikanter Unterschied im klinischen Outcome zwischen revidierten- und nicht revidierten Patienten. 4 (3,5%) Patienten der vorliegenden Studie mussten aufgrund eines medialen- oder lateralen Impingements revidiert werden. Das klinische Outcome verbesserte sich in diesen Fällen gegenüber denjenigen (8 Patienten), die aufgrund einer Impingementsymptomatik konservativ behandelt wurden. Fünf Patienten (4,4%) mussten aufgrund einer Infektsituation revidiert werden. In der Gruppe der Arthrodesen mussten 2 Patienten aufgrund fehlender Konsolidierung und 1 Patient aufgrund eines Malalignments revidiert werden (76). In der Arbeit von Daniels et al. waren die Hauptursachen für einen Revisionseingriff aseptische Lockerungen, gefolgt von Infektsituationen in der Gruppe der Prothesen. Unter den versteiften Patienten mussten 6,5% aufgrund eines Malalignments revidiert werden (78). Nach oberer- und unterer Sprunggelenksarthrodese wurde in dem vorliegenden Kollektiv nur in 17,6% der Fälle eine Revision erforderlich. Aufgrund der niedrigen Fallzahl von n=17 ist das Ergebnis nur eingeschränkt repräsentativ. Eine Nagelarthrodese stellt nach zahlreichen Voroperationen häufig die letzte Alternative zur Amputation dar. Nicht selten liegen komplexe Knochen- und Weichteilverhältnisse vor. Die Datenlage zur Häufigkeit von Revisionen nach oberer- und unterer Sprunggelenksarthrodese ist dementsprechend heterogen. Siebachmeyer et al. berichten über eine Revisionsrate von 43% nach Nagelarthrodese bei vorliegender Charcot-Arthropathie (90). Bei gleicher Ausgangssituation mussten Emara et al. hingegen nur 11,9% der Patienten aufgrund einer ausbleibenden Konsolidierung revidieren (91). Budnar et al. mussten 42% ihrer Patienten revidieren. Ursächlich waren eine Pseudarthrosen, Schraubenirritationen oder Infekte. Als

Hauptindikation für die Nagelarthrodese führten sie eine gescheiterte OSG-Arthrodese, eine fortschreitende subtalare Arthrose, eine gescheiterte OSG-Prothese sowie komplexe Rückfußdeformitäten an (92). Ein direkter Vergleich der vorliegenden Studienergebnisse mit den vorgenannten ist aufgrund der unterschiedlichen Entitäten mit fast ausschließlich vorliegender primärer OSG+USG-Arthrose und nur einem Fall einer Charcot-Arthropathie nicht sinnvoll. Eine hinsichtlich des Patientenkollektivs vergleichbare Arbeit stammt von Fang et al. Sie mussten lediglich 1 von 22 Patienten nach Nagelarthrodese und einem Follow-up-Zeitraum von durchschnittlich 1,8 Jahren aufgrund einer Hautirritation durch die kalkaneare Verriegelungsschraube revidieren (93). Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es während der Implantation einer Sprunggelenksprothese häufiger zu intraoperativen Komplikationen, im Besonderen zu Frakturen der Knöchel gekommen ist. Revisionseingriffe mussten innerhalb der ersten 5 Jahren nach Prothesenimplantation wesentlich häufiger als nach einer Arthrodese durchgeführt werden. Auch wenn die Revisionsraten in der vorliegenden Studie 8-12% über dem Durchschnitt liegen, sind die Ergebnisse vergleichbar mit denen der aktuellen Literatur (Tabelle 16). Die Revisionsraten nach OSG+USG-Arthrodese variieren und sind stark von der jeweiligen knöchernen- und weichteiligen Ausgangssituation abhängig.

	Jahr	Arthrodese		Prothese	
		Revisionen	n	Revisionen	n
<b>Salzmann et al. (81)</b>	2009	7 (10,6%)	66	26 (16,5%)	158
<b>Krause et al. (76)</b>	2011	3 (6,4%)	47	20 (17,5%)	114
<b>Daniels et al. (78)</b>	2014	7 (6,5%)	107	48 (17,1%)	281
<b>Younger et al. (86)</b>	2015	10 (4,7%)	213	124 (26,1%)	474
<b>Diese Studie</b>	2019	10 (19,6%)	51	8 (26,7%)	30

**Tabelle 16:** *Revisionsraten nach OSG-Arthrodese und OSG-Prothese*

## 5.2 Ergebnisse

### 5.2.1 AOFAS-Score

Durchschnittlich erreichten die Patienten folgende Punktzahlen im AOFAS-Score: OSG-Arthrodeese 70,1 Punkte, OSG-Prothese 72,3 Punkte und OSG+USG-Arthrodeese 62,7 Punkte. Das entspricht in allen 3 Gruppen einem mittelmäßigen Ergebnis. Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren diesbezüglich nicht signifikant. In der aktuellen Literatur finden ausschließlich direkte Vergleiche zwischen den Gruppen OSG-Arthrodeese und OSG-Prothese statt. Hinsichtlich der Gesamtpunktzahlen werden unterschiedliche Ergebnisse berichtet (Tabelle 17 und Anhang 8.5.1). Dabei erzielten mit einer Arthrodeese des oberen Sprunggelenks versorgte Patienten eine durchschnittliche Gesamtpunktzahl von 64,6 und mit einer Prothese versorgte Patienten 71,6. Das entspricht in beiden Gruppen ebenfalls einem mittelmäßigen Ergebnis. Dennoch berichten Braitto, Esparragoza und Jastifer et al. über signifikant bessere Ergebnisse nach Prothese (77, 83, 84). Anhand der Ergebnisse von Braitto et al. wird allerdings auch deutlich, dass prothetisch versorgte Patienten in der Kategorie Funktion mehr Punkte erzielen können. Faktisch bedeutet dies, dass durch diese Schwachstelle des AOFAS-Score mit einer Arthrodeese versorgte Patienten per se – aufgrund der fehlenden Beweglichkeit Punkte einbüßen und folglich ein schlechteres Gesamtergebnis erzielen. Auch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit verdeutlichen diese Problematik (Tabelle 17). Nach vollständig konsolidierter OSG-Arthrodeese können maximal 92 Punkte und nach OSG+USG-Arthrodeese sogar nur 86 Punkte von den Patienten erzielt werden, sodass die Überlegenheit der Prothese im AOFAS-Score der meisten Arbeiten relativiert werden muss. Zahlreiche Autoren haben innerhalb der letzten Jahre Ergebnisse von OSG-, OSG+USG-Arthrodesen und Prothesen veröffentlicht. Die AOFAS-Score Ergebnisse nach OSG-Arthrodeese ( $\bar{x}$  73,1) und OSG+USG-Arthrodeese ( $\bar{x}$  64,8) gleichen Ergebnissen der vorliegenden Studie (Anhang 8.5.2). Prothetisch versorgte Patienten erzielten in der Literatur mit  $\bar{x}$  78,5 Punkten ein geringfügig besseres Ergebnis. Werden ausschließlich Studien mit ähnlichem Follow-up-Zeitraum und alleiniger

Verwendung des Modell MOBILITY™ der Fa. Depuy Synthes berücksichtigt, beträgt die durchschnittlich erzielte Gesamtpunktzahl dennoch 78,5.

Es fällt auf, dass unter den Patienten die mit einer OSG-Prothese versorgt wurden, noch 5 Patienten und damit 20% von ihnen starke Restbeschwerden beklagten. Dennoch bestand in punkto Schmerz kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Insgesamt bewegten sich alle Gruppen in einem Intensitätsbereich von geringem- bis mäßigem Schmerzausmaß. Mit einer OSG-Arthrodeese versorgte Patienten zeigten im direkten Vergleich wenige Restbeschwerden zu haben, trotzdem aber nicht gänzlich schmerzfrei zu sein. Braito und Schuh et al. kamen in dieser Hinsicht zu einem vergleichbaren Ergebnis (74, 77). In beiden Studien wurden für die Prothesenversorgung gegenüber der Arthrodeese schlechtere Ergebnisse erzielt. Konträr hierzu erzielten prothetisch versorgte Patienten in der Arbeit von Dalat et al. ein besseres Ergebnis (72). Hernandez et al. berichteten 3 Jahre nach Nagelarthrodeese des oberen- und unteren Sprunggelenks über ein nahezu schmerzfreies Patientenkollektiv (94). Von Wood als auch von Nunley et al. konnte exemplarisch gezeigt werden, dass 5 bzw. 7 Jahren nach Prothesenimplantation ein weitestgehend schmerzfreies Leben möglich ist (95, 96). Eine klare Überlegenheit eines der 3 Verfahren ist anhand der von uns und anderen Autoren veröffentlichten Ergebnissen in der Kategorie „Schmerz“ nicht zu erkennen.

Der AOFAS-Score lässt als klinisches Instrument keine definitive Aussage bezüglich der Überlegenheit eines der Verfahren zu. Dennoch konnte von anderen Autoren mehrheitlich im Vergleich prä- zu postoperativ eine signifikante Verbesserung durch beide Operationsverfahren gezeigt werden (97-99). Dem retrospektiven Studiendesign geschuldet, konnten von uns präoperativ keine Daten erhoben werden.



	Evidenzlevel	Jahr	n	Follow-up (Jahre)	AOFAS Schmerz	AOFAS Funktion	AOFAS Alignment	AOFAS Gesamt
<b>Bräito et al. (77)</b>	III, retrospektiv	2014	141 (AA = 40 TAR = 101)	AA = 3,4 TAR = 4,2	AA = 30,9 (±7) TAR = 25,6 (±12,4)	AA = 29,6 (±8,7) TAR = 36,4 (±10,6)	AA = 7,8 (+3,8) TAR = 8,8 (±2,6)	AA = 68,3 (±15,5) TAR = 70,9 (±23,4)
<b>Schuh et al. (74)</b>	III, retrospektiv	2011	41 (AA = 21 TAR = 20)	AA = 2,5 TAR = 3,3	ns AA = 35,8 TAR = 31,8	ns AA = 30,3 TAR = 33,1	ns AA = 9,6 TAR = 9,6	ns AA = 75,6 TAR = 75,6
<b>Dalat et al. (72)</b>	III, retrospektiv	2014	54 (AA = 22 TAR = 32)	AA = 4,8 TAR = 4,4	ns AA = 24,5 (±9,6) TAR = 28,1 (±8,2)	ns -	ns -	ns AA = 61,8 (±21,7) TAR = 69,7 (±17,3)
<b>Esparragoza et al. (83)</b>	II, prospektiv	2011	30 (AA = 16 TAR = 14)	AA = 2,1 TAR = 2,1	ns -	-	-	ns AA = 45,62 (±5,1) TAR = 62 (±5,5)
<b>Jastifer et al. (84)</b>	II, prospektiv	2014	77 (AA = 16 TAR = 61)	AA = 1 TAR = 1	-	-	-	s AA = 71,8 TAR = 80,8
<b>Diese Studie</b>	III, retrospektiv	2019	81 (AA = 34 TAR = 30) OSG+USG-A = 17)	AA = 3,7 TAR = 4,5 OSG+USG-A = 2,9	AA = 27,5 (±10,3) TAR = 22,0 (±13,5) OSG+USG-A = 23,5 (±13,2)	AA = 32,8 (±6,6) TAR = 39,6 (±6,4) OSG+USG-A = 29,9 (±7,2)	AA = 9,8 (±1) TAR = 9,6 (±1) OSG+USG-A = 9,7 (±1)	AA = 70,1 (±13,6) TAR = 72,3 (±15,3) OSG+USG-A = 62,7 (±16,1)

**Tabelle 17: AOFAS-Score Ergebnisse vergleichender Studien 2004-2018**

AA = OSG-Arthrothese; TAR = OSG-Prothese; OSG+USG-A = OSG+USG-Arthrothese; ns = nicht signifikant; s = signifikant

### 5.2.2 Knöcherne Konsolidierung nach Arthrodesese

97,1% (n=33) der OSG-Arthrodesesen waren zum Nachuntersuchungszeitpunkt vollständig konsolidiert. Bei 1 Patienten (2,9%) mit einer bestehenden Charcot-Arthropathie konnte röntgenologisch keine Konsolidierung nachgewiesen werden. In der Literatur werden mit wenigen Ausnahmen, hohe Konsolidierungsraten nach oberer Sprunggelenksarthrodese berichtet (83-100%) (54, 66, 75, 76, 81, 83, 97, 100-116) (Anhang 8.5.2). Einige Autoren schlossen Patienten mit einem hohen Pseudarthrosrisiko von vornherein aus. Mitchell et al. berichten höhere Fusionsraten unter gemeinsamer Verwendung von Schrauben und Platten im Vergleich mit einer alleinigen Schraubenarthrodese (92,3 vs. 84,6%) (109). Suda et al. untersuchten die Durchbauungsrate bei 74 Patienten mit septischer Sprunggelenksarthritits und Arthrodesese mit einem Fixateur externe. Auch in diesen Fällen konnte eine Durchbauungsrate von 84,0% erzielt werden (117). Quayle et al. berichten signifikant höhere Durchbauungsraten von arthroskopisch assistierten Arthrodesesen im Vergleich mit einer offenen Schraubenarthrodese (98,0 vs. 83,0%) (112). Die Durchbauungsrate nach oberer Sprunggelenksarthrodese der vorliegenden Arbeit kann als überdurchschnittlich hoch bewertet werden. Unter den OSG+USG-Arthrodesesen waren nur 58,8% (n=10) in beiden Gelenken vollständig konsolidiert. 16 (94,1%) waren vollständig im OSG, jedoch nur 10 (58,8%) auch im USG vollständig konsolidiert. Die fehlende Konsolidierung in beiden Gelenken konnte bei 1 Patienten (5,9%) auf eine bestehende Charcot-Arthropathie zurückgeführt werden. Bei allen anderen Patienten konnte die Ursache nicht nachvollzogen werden. In der Literatur werden Durchbauungsraten zwischen 33 und 100% beschrieben (91, 92, 94, 98, 118-139) (Anhang 8.5.2). Bei der Bewertung dieser Ergebnisse und insbesondere bei einem Vergleich mit den Durchbauungsraten einer oberen Sprunggelenksarthrodese muss berücksichtigt werden, dass bei einer Arthrodesese des oberen- und unteren Sprunggelenks häufig eine ungünstige Ausgangssituation vorliegt. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass das untere Sprunggelenk öfter von einer Pseudarthrose betroffen ist als das obere. Auch andere Autoren kamen zu dieser Erkenntnis. Dabei werden im unteren

Sprunggelenk Pseudarthrosenraten von bis zu 28% beobachtet (121-123, 125, 126). Die Durchbauung des unteren Sprunggelenks kann auf nativen Röntgenbildern nicht in allen Fällen zweifelsfrei beurteilt werden (140). Ergänzende CT-Aufnahmen wurden nur von wenigen Autoren angefertigt, sodass Fehlinterpretationen nicht ausgeschlossen werden können. Lee et al. berichten eine Konsolidierungsrate von 100% nach tibiokalkaneärer Nagelarthrodese bei 20 Patienten mit vorausgegangener Talektomie (130). Anhand dieser Arbeit wird deutlich, dass durch eine Nagelarthrodese auch bei schwierigen Knochenverhältnissen eine solide Fusion erzielt werden kann. In der vorliegenden Studie beeinflusste eine nicht- oder nicht vollständig durchbaute OSG-Arthrodese bzw. OSG+USG-Arthrodese das Ergebnis des AOFAS-Score nicht signifikant. Dies wurde auch von anderen Autoren beobachtet (91, 92, 121, 138). Folglich ist eine röntgenologisch unvollständig konsolidierte Arthrodese nicht unmittelbar interventionsbedürftig. Emara et al. berichten eine Durchbauungsrate von nur 33,3% nach Nagelarthrodese bei 42 Patienten mit einer Charcot-Arthropathie. Die klinischen Ergebnisse waren dennoch zufriedenstellend (91). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit Hilfe moderner Arthrodesetechniken in den allermeisten Fällen eine Durchbauung erzielt werden kann. Liegt eine Charcot-Arthropathie vor, ist das Risiko für eine Pseudarthrose besonders hoch.

### **5.2.3 Anschlussarthrose**

Unsere Ergebnisse stützen die Hypothese, dass durch die Implantation einer OSG-Prothese die Inzidenz einer Anschlussarthrose in den angrenzenden Fußgelenken (USG 37%, Chopart- 20,7% und Lisfrancgelenklinie 24,1%) signifikant gesenkt werden kann. Eine Arthrodese des oberen- und insbesondere des oberen- und unteren Sprunggelenks geht demgegenüber häufiger mit arthrotischen Veränderungen des unteren Sprunggelenks (72,7%), der Chopart- (57,6 vs 87,5%) und etwas seltener auch der Lisfrancgelenklinie (52,9 vs 64,7%) einher. Weder die subjektive Patientenzufriedenheit, noch das erzielte Ergebnis im AOFAS-Score aller Gruppen wurden durch das Vorhandensein höhergradiger Anschlussarthrosen signifikant beeinflusst.

Dennoch zeigten sich nach durchschnittlich 3,8 Jahren innerhalb aller Gruppen degenerative Veränderungen der angrenzenden Gelenke. Ob diese infolge der erhöhten Belastung nach Arthrodese oder Prothese entstanden sind, oder aber eine Folge der initialen Verletzung sind, kann anhand der uns zur Verfügung stehenden Daten nicht belegt werden. Saltzman et al. konnten zwischen den Gruppen OSG-Arthrodese- und Prothese, weder prä- noch postoperativ signifikante Unterschiede hinsichtlich der Anschlussarthroseraten feststellen. Auch hinsichtlich des Arthrosegrades unterschieden sich die Gruppen prä- und postoperativ nicht voneinander (75). Braitto et al. berichten eine Progression von einem- oder mehreren Arthrosegraden in 80,7% 4,2 Jahre nach Prothesenimplantation und in 64,9% 3,4 Jahre nach einer Arthrodese des oberen Sprunggelenks. Signifikante Unterschiede lagen jedoch nicht vor (77). Jones et al. berichten nach durchschnittlich 7,2 Jahren im Anschluss an eine arthroskopisch assistierte Arthrodese des oberen Sprunggelenks über Anschlussarthroseraten von 31% im unteren Sprunggelenk und 15% talonavikular. Unterdessen kam es bei Patienten die bereits präoperativ degenerative Veränderungen aufwiesen zu einer Progression, allerdings ohne klinisches Korrelat (100). Kerkhoff et al. konnten in nur 2,2% degenerative Veränderungen im unteren Sprunggelenk nach durchschnittlich 8 Jahren im Anschluss an eine Schraubenarthrodese des oberen Sprunggelenks feststellen. Auch in dieser Arbeit korrelierte der Grad der Arthrose nicht mit dem Ergebnis im AOFAS-Score (108). Choi et al. beobachteten nach durchschnittlich 4,4 Jahren (HINTEGRA®) und 2,8 Jahren (MOBILITY™) deutlich geringere Anschlussarthroseraten (3,1% vs. 8,6%) als in der vorliegenden Studie (70). Dekker et al. sahen nach durchschnittlich 6,5 Jahren bei 3 verschiedenen Prothesenmodellen ein Fortschreiten der Arthrose um 1 Grad im unteren Sprunggelenk (INBONE™ 27%; SALTO® 29% und STAR® 22%) und talonavikular (INBONE™ 29,5%, SALTO® 38,5% und STAR® 23,1%) (141). Auch von anderen Autoren wurde sowohl nach Arthrodese als auch nach Prothese ein Progress degenerativer Veränderungen, insbesondere im unteren Sprunggelenk, beobachtet (95, 114, 116, 142, 143). Im Vergleich mit der aktuellen Literatur sind die vorliegenden Ergebnisse nach OSG-Arthrodese und

OSG+USG-Arthrodeese enttäuschend. Die Ergebnisse nach prothetischer Versorgung erscheinen demgegenüber ermutigend.

#### 5.2.4 Rückfußalignment

Ein neutrales Rückfußalignment lag in 73,5% nach OSG-Arthrodeese, in 96,7% nach OSG-Prothese und in 82,4% nach OSG+USG-Arthrodeese vor. Gemeinhin wird der Salzman-view, besser bekannt als der Hindfoot-alignment-view von den meisten Autoren zur Bestimmung des Rückfußwinkels bevorzugt. Dennoch kommen vereinzelt auch andere Messmethoden zum Einsatz (94, 125). Der von uns angewandten Messmethode anhand einer Aufnahme nach Harris wird von Reilingh et al. eine höhere Interrater-Reliabilität zugesprochen und somit eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse (44). Ungeachtet dessen sind die vorliegenden Ergebnisse nach OSG-Arthrodeese zufriedenstellend, jedoch geringfügig schlechter als die anderer Autoren. Insgesamt 8 Patienten (23,5%) wiesen ein varisches Malalignment zwischen 6-35° auf. Bei 1 Patienten (2,9%) zeigte sich ein valgisches Malalignment von 15°. Firoozabadi und Kennedy et al. konnten hingegen in 100% der Fälle ein zufriedenstellendes Rückfußalignment erzielen (103, 107). Fuentes-Sanz et al. erzielten in 80% zufriedenstellende Ergebnisse (144). Zwipp et al. berichten über ein mildes Varus-Malalignment von max. 5° in 9,7%, ein Valgus-Malalignment von bis zu 10° in 4,1% und ein höhergradigeres Varus-Malalignment bei einem Patienten (1,3% mit Charcot-Marie-Tooth-Erkrankung nach Schraubenarthrodeese). Der AOFAS-Score dieser Patienten unterschied sich nicht signifikant von Patienten mit einem neutralen Rückfußalignment (116). In der Gruppe der Prothesen sind die im Rahmen dieser Studie erzielten Ergebnisse erfreulich. Nur 1 Patient wies ein Valgus-Malalignment von 10° auf. In der Literatur berichtete keiner der Autoren über höhergradige varische- oder valgische Abweichungen der Rückfußachse, wenngleich sich die Ergebnisse auf andere Prothesenmodelle beziehen. (145-147). Andere Autoren verzichteten auf die Bestimmung des Rückfußalignments und konzentrierten sich stattdessen auf das Alignment der einzelnen Prothesenkomponenten (67, 70, 143, 148, 149). Auch die Ergebnisse nach OSG+USG-Arthrodeese sind zufriedenstellend. Nur 3 Patienten (17,6%)

wiesen ein Varus-Malalignment zwischen 6-10° auf. In der Literatur werden diesbezüglich ähnliche Resultate berichtet. Hernandez et al. konnten unter Verwendung eines nicht-gebogenen Nagels in 93% einen Rückfußwinkel innerhalb des angestrebten Toleranzbereichs von  $\pm 5^\circ$  Varus/Valgus erzielen (94). Chraim et al. führten bei 19 Patienten mit einer Charcot-Arthropathie eine Nagelarthrodese durch. Bei Patienten die präoperativ ein Varus-Malalignment aufwiesen, konnte der Rückfußwinkel von durchschnittlich 34,1° auf 7,1° Valgus korrigiert werden. Patienten die präoperativ ein Valgusmalalignment von im Mittel 37,7° aufwiesen, konnten immerhin auf einen durchschnittlichen Rückfußwinkel von 8,6° korrigiert werden. Diese Studie zeigt eindrücklich, dass durch eine Nagelarthrodese auch bei höhergradigen Fehlstellungen im Rückfuß gute Ergebnisse erzielt werden können. Die Konsolidierungsrate betrug in dieser Arbeit 94% (150). Zahlreiche weitere Autoren berichten gleichsam gute Ergebnisse nach Nagelarthrodese des oberen- und unteren Sprunggelenks (92, 93, 123, 124, 126, 132). Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass sich in den meisten Fällen mithilfe moderner Arthrodeseverfahren ein neutrales Rückfußalignment erzielen lässt. In keiner der Gruppen konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen Malalignment und klinischem Outcome nachgewiesen werden. Welchen langfristigen Einfluss das Rückfußalignment auf das Outcome nach Implantation einer OSG-Prothese hat, ist noch nicht abschließend geklärt. Interessant wäre auch, in wie weit ein Malalignment die Entstehung von Anschlussarthrosen begünstigt.

#### **5.2.5 Lateraler Dorsalextensions- bzw. Plantarflexionswinkel**

Eine OSG-Arthrodesese wurde im Mittel in 3,82° und eine OSG+USG-Arthrodesese in 4° Spitzfußstellung fusioniert. 69,7% und 62,5% der OSG- bzw. OSG+USG-Arthrodesen befanden sich in plantigrader Stellung. In 30,3% und 37,5% der Fälle lag eine über den Toleranzbereich von 5° hinausgehende Spitzfußstellung vor. Darunter wiesen in der Gruppe der OSG-Arthrodesen 4 Patienten eine höhergradige Spitzfußstellung von 10° auf. In der Literatur sind verschiedene Messverfahren gebräuchlich, sodass ein direkter Vergleich der Ergebnisse nur bedingt sinnvoll erscheint. Von den meisten Autoren wird eine

plantigrade Fußstellung mit leichter Spitzfußkomponente von max. 5° angestrebt. Fuentes-Sanz et al. berichten einen mittleren tibiotalaren Winkel von 110° nach OSG-Schraubenarthrodese (144). Das entspricht aus unserer Sicht bereits einer höhergradigen Spitzfußstellung. Bessere Ergebnisse wurden von Kennedy und Kerkhoff et al. erzielt. Kennedy et al. konnten bei allen Patienten ein plantigrades Alignment erreichen (107). Kerkhoff et al. berichten über einen durchschnittlichen sagittalen-tibio-talaren-Winkel (STTA) von 106,1° (108). Prissel et al. bestimmten ebenfalls den lateralen Dorsalflexionswinkel nach Schraubenarthrodese des oberen Sprunggelenks und erzielten dabei in 93,8% eine plantigrade Fußstellung (66). Auch Zwipp et al. konnten in 98,7% eine plantigrade Einstellung der Schraubenarthrodese erreichen (116). Unter den OSG+USG-Arthrodesen wies 1 Patient eine höhergradige Spitzfußstellung von 10° auf, alle anderen wiesen keine- oder nur eine milde Spitzfußstellung auf. Dennoch kam es bei einer OSG+USG-Arthrodesese vergleichsweise häufiger zu einer Equinusabweichung. Die Literatur hält nach OSG+USG-Arthrodesese größtenteils gute bis sehr gute Resultate vor (92, 93, 98, 123, 124, 126, 132). Interessanterweise wurden in der klinischen Untersuchung der vorliegenden Studie weniger Patienten als in Spitzfuß konsolidiert bewertet, als in der radiologischen Untersuchung. Letztendlich beeinflusste in beiden Gruppen das Vorliegen einer über das Maß hinausgehenden Spitzfußkomponente das Gesamtergebnis im AOFAS-Score nicht signifikant. Unter diesem Aspekt sind die Ergebnisse als zufriedenstellend einzuordnen. Höhergradige Abweichungen traten in beiden Gruppen nur vereinzelt auf und sind hinsichtlich ihres Ausmaßes mit den Ergebnissen anderer Autoren vergleichbar. Bessere Ergebnisse wurden in der Gruppe der OSG-Arthrodesen erzielt.

### **5.2.6 Alignment der Prothesenkomponenten**

In nur 23,3% wurden die tibiale- und talare Komponente exakt positioniert. Bei 46,7% lag ein Malalignment der talaren-, bei 10% der tibialen- und bei 20% beider Komponenten vor. Bezogen auf die absoluten Zahlenwerte sind diese Resultate nicht optimal. Die zur Bestimmung des Alignments der talaren Komponente gebräuchlichen Methoden sollten nicht unkritisch bewertet

werden. Bereits geringgradige Abweichungen in der Positionierung der Komponenten zur Strahlenquelle führen zu Änderungen der geometrischen Referenzpunkte der einzelnen Komponenten. Der niedrigen Patientenzahl geschuldet, konnte das Prothesenalignment nicht sinnvoll mit dem klinischen Outcome korreliert werden. Somit konnten keine Aussagen über den Einfluss der bei nahezu allen Patienten nicht exakt ausgerichteten Prothesenkomponenten auf das klinische Outcome getroffen werden. In der Literatur variieren die Angaben über die zur Bestimmung des Prothesenalignments erhobenen Parameter. Im Folgenden werden ausschließlich Studien aufgeführt, deren Ergebnisse das Modell MOBILITY™ der Fa. Depuy Synthes betreffen. Choi et al. erzielten in 88,6% ein neutrales Alignment der tibialen Komponente. Der  $\alpha$ -Winkel betrug im Mittel  $89,7^\circ$ , der  $\beta$ -Winkel  $83,8^\circ$ . Das Alignment der talaren Komponente wurde anhand der anteroposterioren-offset-ratio in der sagittalen Ebene bestimmt. Demnach wurde die talare Komponente in 68,6% der Fälle nicht exakt positioniert. Ähnliche Ergebnisse erzielten die Autoren mit der Prothese HINTEGRA®. In den klinischen Scores unterschieden sich beide Designtypen nicht voneinander (70). In der Arbeit von Kerkhoff et al. lag in 6% ein Varus-Malalignment der tibialen Komponente vor. In 98,5% wurde die tibiale Komponente in der sagittalen Ebene exakt ausgerichtet. Die talare Komponente befand sich in nur 7,5% zu weit posterior. Die von Kerkhoff et al. erzielten Ergebnisse sind insbesondere in Bezug auf die Positionierung der talaren Komponente deutlich besser als die der vorliegenden Studie (143). Vergleichbare Messmethoden wurden von Muir et al. angewandt. In ihrer Arbeit betrug der  $\alpha$ -Winkel im Mittel  $89,0^\circ$  ( $=1^\circ$  Varus) und der  $\beta$ -Winkel  $91^\circ$ . Nur in 9,3% lag ein Malalignment der tibialen Komponente in der koronaren Ebene vor. Die talare Komponente wurde in der sagittalen Ebene durchschnittlich 1mm zu weit anterior positioniert (151). Rippstein et al. erzielten sehr gute Ergebnisse. Nach durchschnittlich 2,7 Jahren waren 93% der Komponenten in der koronaren- und 97,4% auch in der sagittalen Ebene korrekt ausgerichtet. Die talare Komponente befand sich in 2,1% zu weit anterior, in 0,4% zu weit posterior (67). Rippstein et al. konnten keine Korrelation zwischen dem Vorliegen eines Prothesenmalalignments und



einem damit einhergehend höheren VAS-Score feststellen (67). Der Umstand, dass Pascale Rippstein Teil des Entwicklerteams der MOBILITY™ Prothese war, muss bei der Bewertung der Ergebnisse Berücksichtigung finden. Jung et al. beobachteten nach durchschnittlich 2,7 Jahren weder ein Malalignment der tibialen-, noch der talaren Komponente in ihrem Patientenkollektiv (148). Sproule et al. konnten in 80% der Fälle ein optimales koronares- und sagittales Prothesenalignment erzielen. In 27% beobachteten sie eine anteriore Subluxation der talaren Komponente (149). Aufgrund der sich in nahezu allen Studien unterscheidenden Messmethoden, fällt es schwer die Ergebnisse sinnvoll miteinander zu vergleichen. Die Ergebnisse dieser Arbeit müssen tendenziell jedoch als deutlich schlechter eingestuft werden. Von den meisten anderen Autoren werden hinsichtlich des Prothesenalignments zufriedenstellende Ergebnisse mit nur geringgradigen Abweichungen berichtet. Die optimale Position der talaren Komponente zu finden, scheint dabei eine besondere Herausforderung zu sein. Selbiges gilt für die anschließende Evaluation. Jeder der genannten Autoren verwendete hierzu ein anderes Messverfahren. Welchen Einfluss das Prothesenalignment auf das klinische Outcome nimmt, konnte für die MOBILITY™ Prothese im Rahmen der vorliegenden Studie nicht abschließend geklärt werden.

### **5.2.7 Lockerung der tibialen- und talaren Prothesenkomponente**

Alle Patienten (n=30; 100%) wiesen röntgenologische Lockerungszeichen der tibialen Prothesenkomponente auf. Bei 46,6% konnten auch Lockerungszeichen im Bereich der talaren Komponente festgestellt werden. Tibial kam es insbesondere im Bereich der Platte zu einem Lockerungssaum, im Bereich des Zapfens hingegen äußerst selten. Talar trat ein solcher meist im ventralen Bereich auf. Dennoch wies keiner der Patienten globale Lockerungszeichen einer Komponente auf. Ein Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit denen der Literatur ist aufgrund unterschiedlicher Methodik nur eingeschränkt möglich. Mercer et al. identifizierten in einem Review aus dem Jahre 2016 insgesamt 86 verschiedene Begrifflichkeiten in 117 Studien, die in einer Form das Auftreten von Lockerung und/oder Osteolysen beschreiben

(17). Problematisch ist, dass vielfach keine klare Abgrenzung der Begriffe „Lockerungssaum“, „Osteolyse“ und „Sinterung“ stattfindet (148, 152). Weiterhin herrschen unterschiedliche Ansichten darüber, wie vielen Millimeter einem echten Lockerungssaum entsprechen. Für die MOBILITY™ Prothese existieren verschiedene Beschreibungsmethoden der Lokalisation eines Lockerungssaumes. Choi et al. beschreiben das Auftreten von Lockerungszeichen in 31%, 90% davon traten tibial auf. Muir et al. berichten über das Auftreten von Lockerungssäumen von >1mm in 29% der Fälle in mindestens einer Zone. Am häufigsten waren dabei der Bereich medial der tibialen Komponente in der a.p. Ansicht und in der seitlichen Ansicht im ventralen Bereich der Platte (entsprechend Zone 6 in der vorliegenden Arbeit) betroffen. Die Autoren teilen die Ansicht, dass die Beurteilbarkeit der talaren Komponente hinsichtlich Lockerungszeichen schwierig und aus diesem Grund nicht sinnvoll ist. Überdies konnten sie keine Korrelation zwischen dem Auftreten röntgenologischer Lockerungszeichen und dem klinischen Outcome feststellen (151). In der vorliegenden Arbeit wurde der Ansatz von Rippstein et al. zu Grunde gelegt, da Pascal Rippstein maßgeblich an der Entwicklung des Prothesenmodells beteiligt war. In einer Arbeit von 2011 beobachtete er nach durchschnittlich 2,7 Jahren Lockerungsraten von 1,8% in Zone 7 bis zu 37,3% in Zone 6 der tibialen Komponente. Lockerungszeichen traten am häufigsten in den Zonen 1, 5, 6 und 10 auf. Diese überstiegen in keinem Fall 2mm und zeigten keine Dynamik. Ein klinisches Korrelat konnte von Rippstein et al. nicht festgestellt werden (67). Vergleichend sind die Raten dieses Kollektivs deutlich niedriger als die der vorliegenden Studie. Sproule et al. berichten über Lockerungszeichen in 43% der Fälle, 91% davon traten im Bereich der tibialen Platte auf. Nur 2 Patienten wiesen Lockerungszeichen im Bereich des tibialen Zapfens und 1 Patient im Bereich der talaren Komponente auf. Die Autoren betonen ebenfalls, dass sie die Beurteilbarkeit der talaren Komponente aufgrund ihrer komplexen Kontur als begrenzt einstufen. Die Mehrheit der Lockerungssäume maßen weniger als 2mm. Eine Progression oder ein klinisches Korrelat konnte in keinem Fall beobachtet werden (149). Wood et al. ermittelten einen Lockerungssaum in 14%. Davon waren 21% kleiner als 2mm

und 79% größer als 2mm. In 50% der Fälle trat er im vorderen Bereich der tibialen Platte auf (vgl. Zone 6) (153). Summers et al. und Jung et al. berichten über eine im Vergleich sehr geringe Lockerungsrate von nur 12% (148, 154). Aufgrund der hohen Prävalenz von Lockerungszeichen, konnte in der vorliegenden Arbeit keine Korrelation zwischen dem Auftreten röntgenologischer Lockerungszeichen, dem klinischen Outcome und dem Prothesenalignment festgestellt werden. Unsere Ergebnisse erlauben überdies keine Aussage über eine Progression der Lockerungszeichen. Die Ergebnisse anderer Arbeitsgruppen zeigen, dass Lockerungszeichen nicht zwangsläufig mit klinischen Beschwerden korrelieren. Dennoch stellen aseptische Lockerungen nach wie vor den häufigsten Revisionsgrund einer Sprunggelenksprothese dar (155).

### **5.2.8 Inzidenz heterotoper Ossifikationen**

Die Inzidenz heterotoper Ossifikationen variiert in Abhängigkeit der implantierten Prothesen zwischen 1,9 und 99% (156, 157). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnten bei 28 Patienten (93,3%) heterotope Ossifikationen identifiziert werden. Eine signifikante Korrelation zwischen dem Vorhandensein höhergradiger (Grad 3 und 4) HO und dem klinischen Bewegungsausmaß im oberen Sprunggelenk konnte nicht festgestellt werden. Choi et al. berichten über ein Auftreten heterotoper Ossifikationen nach Implantation des Modells HINTEGRA® in 40,6% und MOBILITY™ in 20% der Fälle. Unterschiede wurden hinsichtlich des Grades der HO festgestellt. HINTEGRA® Prothesen (76,9% Grad 3) und MOBILITY™ Prothesen (57,1% Grad 2) differierten somit signifikant. In der vorliegenden Studie traten überbrückende HO, höheren Grades (Grad 3-4) insbesondere im posterioren Aspekt der Prothese auf. Im anterioren Aspekt traten HO hingegen nur vereinzelt auf. Jung et al. stellten keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Inzidenz heterotoper Ossifikationen nach HINTEGRA® (33,3%) und MOBILITY™ (15,2%) Prothese fest (148). In einer weiteren Arbeit beobachteten Jung et al. anhand desselben Kollektivs, dass HO im anterioren Aspekt signifikant häufiger nach Implantation einer MOBILITY™ Prothese auftraten. Ein signifikanter Unterschied des

klinischen Outcomes (AOFAS, VAS und radiologische ROM) wurde im Vergleich zu Patienten ohne HO nicht festgestellt (158). Rippstein et al. berichten über posterior überhängende Osteophyten in 26,8% nach MOBILITY™ Prothesenimplantation, wobei keine eindeutige Abgrenzung der Begriffe „Heterotope Ossifikation“ und „Osteophyten“ unternommen wird. Ungeachtet dessen beobachteten sie bei Patienten mit „Osteophyten“ eine signifikant schlechtere Plantarflexion. Alle anderen klinischen- und radiologischen Parameter unterschieden sich nicht von Patienten ohne „Osteophyten“ im posterioren Aspekt der tibialen Komponente (67). Der durchschnittliche Nachuntersuchungszeitraum der genannten Studien betrug 2,9 Jahre. Anhand der im Rahmen der vorliegenden Studie erzielten Ergebnisse kann bestätigt werden, dass heterotope Ossifikationen ein häufiges Phänomen nach Implantation einer oberen Sprunggelenksprothese darstellten. Unabhängig von dem verwendeten Prothesenmodell, traten diese meist im Bereich der posterioren tibialen Komponente auf. Ein klinisches Korrelat ist insbesondere bei höhergradigen, überbrückenden heterotopen Ossifikationen zu erwarten, jedoch nicht regelhaft.

### **5.2.9 Inzidenz periprothetischer Osteolysen**

Bei 5 Patienten (16,6%) sind zystenförmige Osteolysen aufgetreten. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem erzielten Ergebnis im AOFAS-Score und dem Auftreten von Osteolysen konnte nicht festgestellt werden. Insbesondere dann, wenn eine Verbindung zu einer der Prothesenkomponenten besteht, stellen Osteolysen einen der Hauptgründe für das Versagen der Prothese dar (159). Die Prävalenzen schwanken zwischen 2 und 81% (145, 160). Wie bereits erwähnt, werden die Begriffe „Lockerung“ und „Osteolyse“ in der Literatur z.T. synonym verwendet, weshalb die Ergebnisse in einigen Fällen nicht richtig interpretiert werden konnten (161). Choi et al. beobachteten das Auftreten von Osteolysen in 12,5% nach HINTEGRA® und in 11,4% nach MOBILITY™ Prothese. Einer ihrer Patienten unterzog sich einer Revisionsoperation, in der die Osteolyse mit Spongiosa aufgefüllt wurde. Eine Progression der Osteolysen konnte in keinem der verbleibenden Fälle

festgestellt werden. Muir et al. beobachteten nur bei einem (0,77%) von 129 Patienten (MOBILITY™) eine Osteolyse. Rippstein et al. registrierten zystische Formationen in 8,8% (20/228) nach MOBILITY™ Prothese. Diese traten sowohl tibial als auch talar auf. In zwei Fällen konnten Osteolysen im lateralen Malleolus, der interessanterweise keinen direkten Kontakt mit einer Prothesenkomponente hat, beobachtet werden. Weiterhin wurde berichtet, dass Osteolysen signifikant seltener in Verbindung mit einer posttraumatischen Arthrose auftraten. Sproule et al. beobachteten Osteolysen in 5%. Alle waren im medialen Malleolus lokalisiert und asymptomatisch (149). Wood et al. beobachteten ein Auftreten von Zysten in 36% der Fälle nach MOBILITY™ Prothese (153). Hohe Osteolyseraten wurden überdies von Besse (81% Tibial und 48,5% talar) und Di Iorio et al. (35% tibial und 47% talar) nach A.E.S.® Prothese beschrieben. In der Arbeit von Di Iorio et al. mussten 15 Patienten (50%) aufgrund von Osteolysen revidiert werden (162). Besse et al. mussten 9,2% der Patienten revidieren und 3,4% der Prothesen sogar explantieren (145). Koivu et al. konnten Osteolysen in 38% der Fälle nach Implantation einer STAR® Prothese feststellen, mit dem Resultat dass 14,7% revidiert werden mussten (161). Osteolysen stellen gegenwärtig eine häufig auftretende Komplikation dar, wobei die vorliegenden Ergebnisse dies bestätigen. Eine klinische- und radiologische Verlaufskontrolle dieser Patienten ist obligat. Unter Umständen wird eine Revision- oder gar eine Explantation der Prothese notwendig.

## 6. Zusammenfassung

Zirka 1% der Bevölkerung leiden unter einer Arthrose des oberen Sprunggelenks. Nach Ausschöpfen aller konservativen Therapieoptionen, stehen den Patienten mit der Arthrodese und der Prothese zwei Operationsverfahren zur Auswahl. Das Prinzip der Arthrodese ist die Fusion von Talus und Tibia, um eine schmerzfreie Belastung zu ermöglichen. Als Nachteilig erwiesen sich hohe Pseudarthrose- und Anschlussarthrosenraten der angrenzenden Gelenke sowie eine reduzierte Beweglichkeit. Die Vorzüge moderner Prothesenmodelle liegen in einer Reduktion der Schmerzen unter Erhalt bzw. Wiederherstellung der Beweglichkeit im oberen Sprunggelenk. Während mithilfe einer Arthrodese in den vergangenen Jahrzehnten solide klinische Ergebnisse erzielt wurden, werden die positiven Eigenschaften einer Prothese durch hohe Revisionsraten und perioperative Komplikationen geschmälert. Unterschiede hinsichtlich der verwendeten Implantate, der Nachuntersuchungszeiträume und Parameter erschweren die Vergleichbarkeit von Studien. Mitunter wagen nur wenige Arbeitsgruppen eine direkte Gegenüberstellung beider Verfahren. Mit dem Ziel einer systematischen- und vergleichenden Analyse beider Operationsverfahren wurden in der vorliegenden retrospektiven, monozentrischen Studie anamnestische-, klinische- und radiologische Daten von 81 Patienten (48,2%), nach primärer Arthrodese (n=34, 42%) oder Totalendoprothese (n=30, 37%) des oberen Sprunggelenks ausgewertet. Zusätzlich wurden Patienten, die mit einer Arthrodese des oberen- und unteren Sprunggelenks (n=17, 21%) versorgt wurden, berücksichtigt. Konkret sollten die nachfolgenden Fragen aufgearbeitet werden: Gibt es Unterschiede hinsichtlich der erzielten Ergebnisse im AOFAS-Score? Kann durch die Prothesenimplantation die Inzidenz der Anschlussarthrosenrate reduziert werden? Inwiefern korreliert das klinische- mit dem radiologischen Outcome?

Das erzielte klinische Outcome entsprach gemessen am AOFAS-Score in allen Gruppen einem mittelmäßigen Ergebnis. Aufgrund der fehlenden Beweglichkeit nach Arthrodese, erzielten prothetisch versorgte Patienten einzig in der Kategorie ‚Funktion‘ signifikant bessere Ergebnisse. Der Score berücksichtigt nicht, dass die Aufhebung der Beweglichkeit nach Arthrodese das übergeordnete Ziel der Operation darstellt. Dieser Umstand muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. 48,5% mit einer OSG-Arthrodese und 35,3% der mit einer OSG+USG-Arthrodese versorgten Patienten sind ‚sehr zufrieden‘ mit ihrem Operationsergebnis. In der Gruppe OSG-Prothese sind es nur 20%. 100% der mit einer Arthrodese- und 84% mit einer Prothese versorgten Patienten hätten sich zum Nachuntersuchungszeitpunkt erneut für das gleiche Verfahren entschieden. Die Zufriedenheit der mit einer OSG-Arthrodese versorgten Patienten korrelierte überdies mit dem erzielten Ergebnis im AOFAS-Score. Die Konsolidierungsrate nach OSG-Arthrodese betrug 97,1%. Eine vollständige Konsolidierung nach OSG+USG-Arthrodese konnte in 94,1% im oberen- und in 58,8% auch im unteren Sprunggelenk erzielt werden. Eine Arthrodese des oberen- und insbesondere des oberen- und unteren Sprunggelenks führte häufiger zu Anschlussarthrosen, im Besonderen im unteren Sprunggelenk, der Chopart- und etwas seltener auch in der Lisfrancgelenklinie. 73,5% der Patienten nach OSG-Arthrodese, 96,7% nach OSG-Prothese und 82,4% nach OSG+USG-Arthrodese wiesen röntgenologisch ein neutrales Rückfußalignment auf. Höhergradigere Achsabweichungen in der Sagittalebene traten nach Arthrodese nur vereinzelt auf. Eine nicht vollständig konsolidierte Arthrodese, das Vorliegen von Anschlussarthrosen, ein Rückfußmalalignment oder eine Spitzfußstellung beeinflussten das klinische Outcome in keiner der Gruppen signifikant. In 23,3% der Fälle wurde die tibiale- und talare Prothesenkomponente exakt positioniert. In 46,7% lag ein Malalignment der talaren-, in 10% der tibialen- und in 20% beider Komponenten vor. Alle mit einer Prothese versorgten Patienten wiesen röntgenologische Lockerungszeichen der tibialen Komponente in mindestens 1 der 10 Zonen auf. In 46,6% konnten Lockerungszeichen der talaren Komponente festgestellt werden. Am häufigsten

kam es tibial im Bereich der Platte zu einem Lockerungssaum. Talar war meist der ventrale Bereich der Komponente betroffen. In keinem Fall waren röntgenologisch globale Lockerungssäume zu verzeichnen. In 93,3% zeigten sich heterotope Ossifikationen (HO) bei einliegender Sprunggelenksprothese. Höhergradige, überbrückende Ossifikationen traten insbesondere im posterioren Aspekt des OSG auf. Eine signifikante Korrelation zwischen dem Vorhandensein höhergradiger (Grad 3 und 4) HO und dem klinischen Bewegungsausmaß im oberen Sprunggelenk konnte nicht festgestellt werden. In 16,6% zeigten sich randständige Osteolysen. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem erzielten Ergebnis im AOFAS-Score konnte nicht festgestellt werden.

Schlussfolgernd konnten durch beide Verfahren mittelfristig, zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden. Patienten mit einer Arthrodesen waren insgesamt zufriedener mit ihrem Operationsergebnis, wobei sich an Hand des AOFAS-Score keine definitive Überlegenheit eines der Verfahren feststellen ließ. Die Implantation einer Prothese ging mit einem höheren Risiko für peri- und intraoperative Komplikationen und einem erhöhten Revisionsrisiko einher. Die Inzidenz von Anschlussarthrosen war nach Implantation einer Prothese signifikant geringer ausgeprägt. Eine nicht vollständig konsolidierte Arthrodesen, das Vorliegen von Anschlussarthrosen, ein Rückfußmalalignment oder eine Spitzfußkomponente beeinträchtigten das klinische Outcome nicht signifikant. Ob eine röntgenologisch partiell gelockerte- oder nicht exakt positionierte Prothesenkomponente mit einem schlechteren klinischen Outcome einhergeht, konnte der Fallzahl geschuldet nicht abschließend beantwortet werden.

Um eine definitive Aussage bezüglich der Überlegenheit eines der Verfahren machen zu können, sind weitere Langzeitstudien unter standardisierten Bedingungen notwendig.



## 7. Literaturverzeichnis

1. Lohmann R, Haid K, Stockle U, Raschke M. [Epidemiology and perspectives in traumatology of the elderly]. *Der Unfallchirurg*. 2007;110(6):553-60; quiz 61-2.
2. Peters E, Pritzkeleit R, Beske F, Katalinic A. [Demographic change and disease rates: a projection until 2050]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*. 2010;53(5):417-26.
3. Maffulli N, Longo UG, Locher J, Romeo G, Salvatore G, Denaro V. Outcome of ankle arthrodesis and ankle prosthesis: a review of the current status. *Br Med Bull*. 2017;124(1):91-112.
4. Harrasser N, von Eisenhart-Rothe R, Pohlig F, Waizy H, Toepfer A, Gerdesmeyer L, et al. [Osteoarthritis of the upper ankle joint]. *Orthopade*. 2017;46(7):625-38.
5. Barg A, Pagenstert GI, Hugle T, Gloyer M, Wiewiorski M, Henninger HB, et al. Ankle osteoarthritis: etiology, diagnostics, and classification. *Foot and ankle clinics*. 2013;18(3):411-26.
6. Santos AL, Demange MK, Prado MP, Fernandes TD, Giglio PN, Hintermann B. Cartilage lesions and ankle osteoarthrosis: review of the literature and treatment algorithm. *Rev Bras Ortop*. 2014;49(6):565-72.
7. Egloff C, Hugle T, Valderrabano V. Biomechanics and pathomechanisms of osteoarthritis. *Swiss Med Wkly*. 2012;142:w13583.
8. Morash J, Walton DM, Glazebrook M. Ankle Arthrodesis Versus Total Ankle Arthroplasty. *Foot and ankle clinics*. 2017;22(2):251-66.
9. Kim HJ, Suh DH, Yang JH, Lee JW, Kim HJ, Ahn HS, et al. Total ankle arthroplasty versus ankle arthrodesis for the treatment of end-stage ankle arthritis: a meta-analysis of comparative studies. *Int Orthop*. 2017;41(1):101-9.
10. Krause F, Younger AS, Baumhauer JF, Daniels TR, Glazebrook M, Evangelista PT, et al. Clinical Outcomes of Nonunions of Hindfoot and Ankle Fusions. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2016;98(23):2006-16.
11. Ling JS, Smyth NA, Fraser EJ, Hogan MV, Seaworth CM, Ross KA, et al. Investigating the relationship between ankle arthrodesis and adjacent-joint arthritis in the hindfoot: a systematic review. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2015;97(6):513-20.
12. Fevang BT, Lie SA, Havelin LI, Brun JG, Skrederstuen A, Furnes O. 257 ankle arthroplasties performed in Norway between 1994 and 2005. *Acta Orthop*. 2007;78(5):575-83.
13. Lawton CD, Butler BA, Dekker RG, 2nd, Prescott A, Kadakia AR. Total ankle arthroplasty versus ankle arthrodesis—a comparison of outcomes over the last decade. *J Orthop Surg Res*. 2017;12(1):76.
14. Roser A, Altenberger S, Walther M. [Total ankle replacement]. *MMW Fortschr Med*. 2017;159(16):48-51.
15. Syed F, Ugwuoke A. Ankle arthroplasty: A review and summary of results from joint registries and recent studies. *EFORT Open Rev*. 2018;3(6):391-7.

16. Barg A, Wimmer MD, Wiewiorski M, Wirtz DC, Pagenstert GI, Valderrabano V. Total ankle replacement. *Dtsch Arztebl Int.* 2015;112(11):177-84.
17. Mercer J, Penner M, Wing K, Younger AS. Inconsistency in the Reporting of Adverse Events in Total Ankle Arthroplasty: A Systematic Review of the Literature. *Foot Ankle Int.* 2016;37(2):127-36.
18. Brockett CL, Chapman GJ. Biomechanics of the ankle. *Orthop Trauma.* 2016;30(3):232-8.
19. Leardini A, O'Connor JJ, Giannini S. Biomechanics of the natural, arthritic, and replaced human ankle joint. *J Foot Ankle Res.* 2014;7(1):8.
20. Frank RM, Hsu AR, Gross CE, Walton DM, Lee S. Open and arthroscopic surgical anatomy of the ankle. *Anat Res Int.* 2013;2013:182650.
21. Anetzberger H, Gaber O, Griener B. *Chirurgische Operationslehre - Schädel, Haltungs- und Bewegungsapparat: Untere Extremität.* 1 ed. Hierholzer G, Kremer K, Lierse W, Platzer W, Schreiber HW, Trentz O, et al., editors. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 1997. 516 p.
22. Mittlmeier T, Klaue K, Beck M. [Posttraumatic arthritis in the hind foot]. *Der Unfallchirurg.* 2006;109(2):125-46; quiz 47-8.
23. Knupp M, Valderrabano V, Hintermann B. [Anatomical and biomechanical aspects of total ankle replacement]. *Orthopade.* 2006;35(5):489-94.
24. Knupp M, Ledermann H, Magerkurth O, Hinterman B. The surgical tibiotalar angle: a radiologic study. *Foot Ankle Int.* 2005;26(9):713-6.
25. Platzer W. *Taschenatlas Anatomie.* 10. ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2009. 467 p.
26. Mittlmeier T. [Arthrodesis versus total joint replacement of the ankle]. *Der Unfallchirurg.* 2013;116(6):537-50; quiz 51-2.
27. Hintermann B, Nigg BM, Sommer C, Cole GK. Transfer of movement between calcaneus and tibia in vitro. *Clinical Biomechanics.* 1994;9(6):349-55.
28. Delco ML, Kennedy JG, Bonassar LJ, Fortier LA. Post-traumatic osteoarthritis of the ankle: A distinct clinical entity requiring new research approaches. *J Orthop Res.* 2017;35(3):440-53.
29. Snedeker JG, Wirth SH, Espinosa N. Biomechanics of the normal and arthritic ankle joint. *Foot and ankle clinics.* 2012;17(4):517-28.
30. Rockar PA, Jr. The subtalar joint: anatomy and joint motion. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1995;21(6):361-72.
31. Maceira E, Monteagudo M. Subtalar anatomy and mechanics. *Foot and ankle clinics.* 2015;20(2):195-221.
32. Jastifer JR, Gustafson PA. The subtalar joint: biomechanics and functional representations in the literature. *Foot (Edinb).* 2014;24(4):203-9.
33. Strauß V, Scheer A-C, Andermahr J. Pathogenese von Knochenzysten nach Sprunggelenksendoprothesen. *Fuß & Sprunggelenk.* 2017;15(2):97-107.
34. Neumann HW. *AE-Manual der Endoprothetik* 2012.
35. Nierthard FU, Pfeil J, Biberthaler P. *Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie.* 7 ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2014. 670 p.
36. Brittberg M, Winanski CS. Evaluation of cartilage injuries and repair. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 2003;85-A Suppl 2:58-69.

37. Valderrabano V, Horisberger M, Russell I, Dougall H, Hintermann B. Etiology of ankle osteoarthritis. *Clin Orthop Relat Res*. 2009;467(7):1800-6.
38. Saltzman CL, Salamon ML, Blanchard GM, Huff T, Hayes A, Buckwalter JA, et al. Epidemiology of ankle arthritis: report of a consecutive series of 639 patients from a tertiary orthopaedic center. *Iowa Orthop J*. 2005;25:44-6.
39. Grunfeld R, Aydogan U, Juliano P. Ankle arthritis: review of diagnosis and operative management. *The Medical clinics of North America*. 2014;98(2):267-89.
40. Hintermann B, Boss A, Schafer D. Arthroscopic findings in patients with chronic ankle instability. *Am J Sports Med*. 2002;30(3):402-9.
41. Colin F, Gaudot F, Odri G, Judet T. Supramalleolar osteotomy: techniques, indications and outcomes in a series of 83 cases. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2014;100(4):413-8.
42. Martin RL, Stewart GW, Conti SF. Posttraumatic ankle arthritis: an update on conservative and surgical management. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2007;37(5):253-9.
43. Saltzman CL, el-Khoury GY. The hindfoot alignment view. *Foot Ankle Int*. 1995;16(9):572-6.
44. Reilingh ML, Beimers L, Tuijthof GJ, Stufkens SA, Maas M, van Dijk CN. Measuring hindfoot alignment radiographically: the long axial view is more reliable than the hindfoot alignment view. *Skeletal Radiol*. 2010;39(11):1103-8.
45. Hamel J, Zwipp H. Sprunggelenk und Rückfuß 2016.
46. Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis*. 1957;16(4):494-502.
47. Jerosch J, Fayaz H, Senyurt H. [Ankle arthrodesis versus ankle replacement: a comparison]. *Orthopade*. 2006;35(5):495-505.
48. Stuhler T. Arthrodesen. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 1994. 384 p.
49. Wülker N, Stephens MM, Cracchiolo A. Operationsatlas Fuß und Sprunggelenk. 2 ed. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2007. 379 p.
50. Abt HP, Neun O, Zivko G, Vehn C, Hoffmann R. Posttraumatische Arthrose des oberen Sprunggelenks. *Trauma und Berufskrankheit*. 2011;13(3):198-203.
51. Grass R, Rammelt S, Endres T, Zwipp H. [Reorientational arthrodesis of the ankle joint using four screws]. *Orthopade*. 2005;34(12):1209-15.
52. Mückley T, Klos K. Arthrodesen am Sprunggelenk und Rückfuß. *Trauma und Berufskrankheit*. 2010;12(S4):387-96.
53. Grass R, Rammelt S, Heineck J, Zwipp H. [Hindfoot arthrodesis resulting from retrograde medullary pinning]. *Orthopade*. 2005;34(12):1238-44.
54. de Leeuw PA, Hendrickx RP, van Dijk CN, Stufkens SS, Kerkhoffs GM. Midterm results of posterior arthroscopic ankle fusion. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(4):1326-31.
55. Mückley T, Schutz T, Srivastava S, Goebel M, Gonschorek O, Bühren V. [Ankle arthrodesis with intramedullary compression nailing]. *Der Unfallchirurg*. 2003;106(9):732-40.
56. Richter M. [Computer-assisted surgery-(CAS-) guided correction arthrodesis of the ankle joint]. *Oper Orthop Traumatol*. 2009;21(3):313-22.
57. Schmidt HG, Hadler D, Gerlach UJ, Schoop R. [Principles of OSG arthrodesis in cases of joint infection]. *Orthopade*. 2005;34(12):1216-28.

58. Hayes BJ, Gonzalez T, Smith JT, Chiodo CP, Bluman EM. Ankle Arthritis: You Can't Always Replace It. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2016;24(2):e29-38.
59. Muller S, Walther M, Roser A, Krenn V. [Endoprosthesis failure in the ankle joint : Histopathological diagnostics and classification]. *Orthopade*. 2017;46(3):234-41.
60. Kostuj T, Walther M, Röder C, Aghayev E, Preis M. Erste Ergebnisse aus dem Sprunggelenkendoprothesenregister der D.A.F. Fuß & Sprunggelenk. 2012;10(3):161-5.
61. Wirth SH, Klammer G, Espinosa N. [Arthrodesis and endoprotheses of the ankle joint: indications, techniques and pitfalls]. *Der Unfallchirurg*. 2013;116(9):797-805.
62. Buechel FF, Pappas MJ, Iorio LJ. New Jersey Low Contact Stress Total Ankle Replacement: Biomechanical Rationale and Review of 23 Cementless Cases. *Foot & Ankle*. 2016;8(6):279-90.
63. Naal FD, Impellizzeri FM, Rippstein PF. Which are the most frequently used outcome instruments in studies on total ankle arthroplasty? *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468(3):815-26.
64. Hunt KJ, Hurwit D. Use of patient-reported outcome measures in foot and ankle research. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2013;95(16):e118(1-9).
65. 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 Int*. 1994;15(7):349-53.
66. Prissel MA, Simpson GA, Sutphen SA, Hyer CF, Berlet GC. Ankle Arthrodesis: A Retrospective Analysis Comparing Single Column, Locked Anterior Plating to Crossed Lag Screw Technique. *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*. 2017;56(3):453-6.
67. Rippstein PF, Huber M, Coetzee JC, Naal FD. Total ankle replacement with use of a new three-component implant. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2011;93(15):1426-35.
68. Kerkhoff YR, Kosse NM, Louwerens JW. Short term results of the Mobility Total Ankle System: Clinical and radiographic outcome. *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*. 2016;22(3):152-7.
69. Lee KB, Cho YJ, Park JK, Song EK, Yoon TR, Seon JK. Heterotopic ossification after primary total ankle arthroplasty. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2011;93(8):751-8.
70. Choi GW, Kim HJ, Yeo ED, Song SY. Comparison of the HINTEGRA and Mobility total ankle replacements. Short- to intermediate-term outcomes. *The bone & joint journal*. 2013;95-B(8):1075-82.
71. Espinosa N, Klammer G. Treatment of ankle osteoarthritis: arthrodesis versus total ankle replacement. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2010;36(6):525-35.
72. Dalat F, Trouillet F, Fessy MH, Bourdin M, Besse JL. Comparison of quality of life following total ankle arthroplasty and ankle arthrodesis: Retrospective study of 54 cases. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2014;100(7):761-6.

73. Pedowitz DI, Kane JM, Smith GM, Saffel HL, Comer C, Raikin SM. Total ankle arthroplasty versus ankle arthrodesis: a comparative analysis of arc of movement and functional outcomes. *The bone & joint journal*. 2016;98-B(5):634-40.
74. Schuh R, Hofstaetter J, Krismer M, Bevoni R, Windhager R, Trnka HJ. Total ankle arthroplasty versus ankle arthrodesis. Comparison of sports, recreational activities and functional outcome. *Int Orthop*. 2012;36(6):1207-14.
75. Saltzman CL, Kadoko RG, Suh JS. Treatment of isolated ankle osteoarthritis with arthrodesis or the total ankle replacement: a comparison of early outcomes. *Clin Orthop Surg*. 2010;2(1):1-7.
76. Krause FG, Windolf M, Bora B, Penner MJ, Wing KJ, Younger AS. Impact of complications in total ankle replacement and ankle arthrodesis analyzed with a validated outcome measurement. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2011;93(9):830-9.
77. Braito M, Dammerer D, Kaufmann G, Fischler S, Carollo J, Reinthaler A, et al. Are our expectations bigger than the results we achieve? A comparative study analysing potential advantages of ankle arthroplasty over arthrodesis. *International Orthopaedics*. 2014;38(8):1647-53.
78. Daniels TR, Younger AS, Penner M, Wing K, Dryden PJ, Wong H, et al. Intermediate-term results of total ankle replacement and ankle arthrodesis: a COFAS multicenter study. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2014;96(2):135-42.
79. Benich MR, Ledoux WR, Orendurff MS, Shofer JB, Hansen ST, Davitt J, et al. Comparison of Treatment Outcomes of Arthrodesis and Two Generations of Ankle Replacement Implants. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2017;99(21):1792-800.
80. SooHoo NF. Comparison of Reoperation Rates Following Ankle Arthrodesis and Total Ankle Arthroplasty. *The Journal of Bone and Joint Surgery (American)*. 2007;89(10).
81. Saltzman CL, Mann RA, Ahrens JE, Amendola A, Anderson RB, Berlet GC, et al. Prospective controlled trial of STAR total ankle replacement versus ankle fusion: initial results. *Foot Ankle Int*. 2009;30(7):579-96.
82. Slobogean GP, Younger A, Apostle KL, Marra CA, Wing K, Penner M, et al. Preference-based quality of life of end-stage ankle arthritis treated with arthroplasty or arthrodesis. *Foot Ankle Int*. 2010;31(7):563-6.
83. Esparragoza L, Vidal C, Vaquero J. Comparative study of the quality of life between arthrodesis and total arthroplasty substitution of the ankle. *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*. 2011;50(4):383-7.
84. Jastifer J, Coughlin MJ, Hirose C. Performance of total ankle arthroplasty and ankle arthrodesis on uneven surfaces, stairs, and inclines: a prospective study. *Foot Ankle Int*. 2015;36(1):11-7.
85. Jiang JJ, Schipper ON, Whyte N, Koh JL, Toolan BC. Comparison of Perioperative Complications and Hospitalization Outcomes After Ankle Arthrodesis Versus Total Ankle Arthroplasty From 2002 to 2011. *Foot & Ankle International*. 2014;36(4):360-8.
86. Younger ASE, Wing KJ, Glazebrook M, Daniels TR, Dryden PJ, Lalonde K-A, et al. Patient Expectation and Satisfaction as Measures of Operative

- Outcome in End-Stage Ankle Arthritis. *Foot & Ankle International*. 2015;36(2):123-34.
87. Stavrakis AI, SooHoo NF. Trends in Complication Rates Following Ankle Arthrodesis and Total Ankle Replacement. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2016;98(17):1453-8.
88. Odum SM, Van Doren BA, Anderson RB, Davis WH. In-Hospital Complications Following Ankle Arthrodesis Versus Ankle Arthroplasty: A Matched Cohort Study. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2017;99(17):1469-75.
89. Park JH, Kim HJ, Suh DH, Lee JW, Kim HJ, Oh MJ, et al. Arthroscopic Versus Open Ankle Arthrodesis: A Systematic Review. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2018;34(3):988-97.
90. Siebachmeyer M, Boddu K, Bilal A, Hester TW, Hardwick T, Fox TP, et al. Outcome of one-stage correction of deformities of the ankle and hindfoot and fusion in Charcot neuroarthropathy using a retrograde intramedullary hindfoot arthrodesis nail. *The bone & joint journal*. 2015;97-B(1):76-82.
91. Emara KM, Ahmed Diab R, Amr Hemida M. Tibio-calcaneal fusion by retrograde intramedullary nailing in charcot neuroarthropathy. *Foot (Edinb)*. 2018;34:6-10.
92. Budnar VM, Hepple S, Harries WG, Livingstone JA, Winson I. Tibiototalcalcaneal Arthrodesis With a Curved, Interlocking, Intramedullary Nail. *Foot & Ankle International*. 2010;31(12):1085-92.
93. Fang Z, Claassen L, Windhagen H, Daniilidis K, Stukenborg-Colsman C, Waizy H. Tibiototalcalcaneal arthrodesis using a retrograde intramedullary nail with a valgus curve. *Orthop Surg*. 2015;7(2):125-31.
94. Lucas YHJ, Abad J, Remy S, Darcel V, Chauveaux D, Laffenetre O. Tibiototalcalcaneal arthrodesis using a straight intramedullary nail. *Foot Ankle Int*. 2015;36(5):539-46.
95. Wood PL, Prem H, Sutton C. Total ankle replacement: medium-term results in 200 Scandinavian total ankle replacements. *J Bone Joint Surg Br*. 2008;90(5):605-9.
96. Nunley JA, Caputo AM, Easley ME, Cook C. Intermediate to long-term outcomes of the STAR Total Ankle Replacement: the patient perspective. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2012;94(1):43-8.
97. Kiene J, Schulz AP, Hillbricht S, Jürgens C, Paech A. Clinical results of resection arthrodesis by triangular external fixation for posttraumatic arthrosis of the ankle joint in 89 cases. *European Journal of Medical Research*. 2009;14(1).
98. Biz C, Hoxhaj B, Aldegheri R, Iacobellis C. Minimally Invasive Surgery for Tibiototalcalcaneal Arthrodesis Using a Retrograde Intramedullary Nail: Preliminary Results of an Innovative Modified Technique. *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*. 2016;55(6):1130-8.
99. Usuelli FG, Manzi L, Brusafferri G, Neher RE, Guelfi M, Maccario C. Sagittal tibiotalar translation and clinical outcomes in mobile and fixed-bearing total ankle replacement. *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*. 2017;23(2):95-101.
100. Jones CR, Wong E, Applegate GR, Ferkel RD. Arthroscopic Ankle Arthrodesis: A 2-15 Year Follow-up Study. *Arthroscopy*. 2018;34(5):1641-9.

101. Akra GA, Middleton A, Adedapo AO, Port A, Finn P. Outcome of ankle arthrodesis using a transfibular approach. *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons.* 2010;49(6):508-12.
102. Chalayan O, Wang B, Blankenhorn B, Jackson JB, 3rd, Beals T, Nickisch F, et al. Factors Affecting the Outcomes of Uncomplicated Primary Open Ankle Arthrodesis. *Foot Ankle Int.* 2015;36(10):1170-9.
103. Firoozabadi R, Thuillier D, Benirschke S. Obtaining Correct Ankle Alignment Using Intraoperative External Fixation for Ankle Arthrodesis. *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons.* 2017;56(2):242-6.
104. Gordon D, Zicker R, Cullen N, Singh D. Open ankle arthrodeses via an anterior approach. *Foot Ankle Int.* 2013;34(3):386-91.
105. Hendrickx RP, Kerkhoffs GM, Stufkens SA, van Dijk CN, Marti RK. Ankle fusion using a 2-incision, 3-screw technique. *Oper Orthop Traumatol.* 2011;23(2):131-40.
106. Hendrickx RP, Stufkens SA, de Bruijn EE, Sierevelt IN, van Dijk CN, Kerkhoffs GM. Medium- to long-term outcome of ankle arthrodesis. *Foot Ankle Int.* 2011;32(10):940-7.
107. Kennedy JG, Hodgkins CW, Brodsky A, Bohne WH. Outcomes after standardized screw fixation technique of ankle arthrodesis. *Clin Orthop Relat Res.* 2006;447:112-8.
108. Kerkhoff YRA, Keijsers NLW, Louwerens JWK. Sports Participation, Functional Outcome, and Complications After Ankle Arthrodesis: Midterm Follow-up. *Foot Ankle Int.* 2017;38(10):1085-91.
109. Mitchell PM, Douleh DG, Thomson AB. Comparison of Ankle Fusion Rates With and Without Anterior Plate Augmentation. *Foot Ankle Int.* 2017;38(4):419-23.
110. Mückley T, Hofmann G, Bühren V. Die tibiotalare Arthrodesese mit dem Kompressionsmarknagel. *Operative Orthopädie und Traumatologie.* 2005;17(4-5):407-25.
111. Nielsen KK, Linde F, Jensen NC. The outcome of arthroscopic and open surgery ankle arthrodesis. *Foot and Ankle Surgery.* 2008;14(3):153-7.
112. Quayle J, Shafafy R, Khan MA, Ghosh K, Sakellariou A, Gougoulias N. Arthroscopic versus open ankle arthrodesis. *Foot and Ankle Surgery.* 2018;24(2):137-42.
113. Smith JT, Chiodo CP, Singh SK, Wilson MG. Open ankle arthrodesis with a fibular-sparing technique. *Foot Ankle Int.* 2013;34(4):557-62.
114. Strasser NL, Turner NS. Functional Outcomes after Ankle Arthrodesis in Elderly Patients. *Foot & Ankle International.* 2012;33(9):699-703.
115. Townshend D, Di Silvestro M, Krause F, Penner M, Younger A, Glazebrook M, et al. Arthroscopic versus open ankle arthrodesis: a multicenter comparative case series. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 2013;95(2):98-102.
116. Zwipp H, Rammelt S, Endres T, Heineck J. High union rates and function scores at midterm followup with ankle arthrodesis using a four screw technique. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468(4):958-68.

117. Suda AJ, Richter A, Abou-Nouar G, Jazzazi M, Tinelli M, Bischel OE. Arthrodesis for septic arthritis of the ankle: risk factors and complications. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016;136(10):1343-8.
118. Anderson T, Linder L, Rydholm U, Montgomery F, Besjakov J, Carlsson A. Tibio-talocalcaneal arthrodesis as a primary procedure using a retrograde intramedullary nail: a retrospective study of 26 patients with rheumatoid arthritis. *Acta Orthop.* 2005;76(4):580-7.
119. Caixeta TB, Junior MO, de Castro RV, Martins JS, Costa EN, Albieri AD, et al. Tibiotalocalcaneal arthrodesis with retrograde intramedullary nailing: 29 patients' clinical and functional evaluation. *Rev Bras Ortop.* 2014;49(1):56-61.
120. Christodoulou NA, Mavrogenis AF, Sdrenias C, Mitsiokapa EA, Tsaknis R, Salagiannis G, et al. Ankle arthrodesis using a tibio-calcaneal external fixator. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2006;16(2):146-9.
121. Dujela M, Hyer CF, Berlet GC. Rate of Subtalar Joint Arthrodesis After Retrograde Tibiotalocalcaneal Arthrodesis With Intramedullary Nail Fixation: Evaluation of the RAIN Database. *Foot & ankle specialist.* 2017:1938640017740674.
122. Fenton P, Bali N, Matheshwari R, Youssef B, Meda K. Complications of tibio-talar-calcaneal fusion using intramedullary nails. *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons.* 2014;20(4):268-71.
123. Goebel M, Gerdesmeyer L, Muckley T, Schmitt-Sody M, Diehl P, Stienstra J, et al. Retrograde intramedullary nailing in tibiotalocalcaneal arthrodesis: a short-term, prospective study. *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons.* 2006;45(2):98-106.
124. Gong JC, Zhou BH, Tao X, Yuan CS, Tang KL. Tibiotalocalcaneal arthrodesis with headless compression screws. *J Orthop Surg Res.* 2016;11(1):91.
125. Gross JB, Belleville R, Nespola A, Poircuitte JM, Coudane H, Mainard D, et al. Influencing factors of functional result and bone union in tibiotalocalcaneal arthrodesis with intramedullary locking nail: a retrospective series of 30 cases. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2014;24(4):627-33.
126. Hammett R, Hepple S, Forster B, Winson I. Tibiotalocalcaneal (hindfoot) arthrodesis by retrograde intramedullary nailing using a curved locking nail. The results of 52 procedures. *Foot Ankle Int.* 2005;26(10):810-5.
127. Jehan S, Shakeel M, Bing AJ, Hill SO. The success of tibiotalocalcaneal arthrodesis with intramedullary nailing--a systematic review of the literature. *Acta Orthop Belg.* 2011;77(5):644-51.
128. Klos K, Drechsel T, Gras F, Pfeil A, Tiemann A, Hofmann G, et al. Die tibiotalokalkaneare Arthrodesese mit einem winkelstabilen Marknagel mit Rückfußvalgus und Kompressionsmöglichkeit. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie.* 2009;147(04):445-51.
129. Krissen C, Sumon H, Nicholas B, Howard C, Andrew A, Andrew S. Tibio-talo-calcaneo fusion using a locked intramedullary compressive nail. *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons.* 2011;17(4):228-32.



130. Lee BH, Fang C, Kunnasegaran R, Thevendran G. Tibiotalocalcaneal Arthrodesis With the Hindfoot Arthrodesis Nail: A Prospective Consecutive Series From a Single Institution. *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*. 2018;57(1):23-30.
131. Mendicino RW, Catanzariti AR, Saltrick KR, Dombek MF, Tullis BL, Statler TK, et al. Tibiotalocalcaneal arthrodesis with retrograde intramedullary nailing. *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*. 2004;43(2):82-6.
132. Muckley T, Klos K, Drechsel T, Beimel C, Gras F, Hofmann GO. Short-term outcome of retrograde tibiotalocalcaneal arthrodesis with a curved intramedullary nail. *Foot Ankle Int*. 2011;32(1):47-56.
133. Niinimäki TT, Klemola TM, Leppilähti JI. Tibiotalocalcaneal arthrodesis with a compressive retrograde intramedullary nail: a report of 34 consecutive patients. *Foot Ankle Int*. 2007;28(4):431-4.
134. Pelton K, Hofer JK, Thordarson DB. Tibiotalocalcaneal arthrodesis using a dynamically locked retrograde intramedullary nail. *Foot Ankle Int*. 2006;27(10):759-63.
135. Rammelt S, Pycr J, Agren PH, Hartsock LA, Cronier P, Friscia DA, et al. Tibiotalocalcaneal fusion using the hindfoot arthrodesis nail: a multicenter study. *Foot Ankle Int*. 2013;34(9):1245-55.
136. Richter M, Zech S. Tibiotalocalcaneal arthrodesis with a triple-bend intramedullary nail (A3)-2-year follow-up in 60 patients. *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*. 2016;22(2):131-8.
137. Tan BY, Ng SY, Chong KW, Rikhranj IS. Tibiotalocalcaneal arthrodesis in a Singaporean hospital. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2013;21(1):51-4.
138. Tavakkolizadeh A, Klinker M, Davies MS. Tibiotalocalcaneal arthrodesis in treatment of hindfoot pain and deformity. *Foot and Ankle Surgery*. 2006;12(2):59-64.
139. Thomas AE, Guyver PM, Taylor JM, Czipri M, Talbot NJ, Sharpe IT. Tibiotalocalcaneal arthrodesis with a compressive retrograde nail: A retrospective study of 59 nails. *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*. 2015;21(3):202-5.
140. Coughlin MJ, Grimes JS, Traughber PD, Jones CP. Comparison of radiographs and CT scans in the prospective evaluation of the fusion of hindfoot arthrodesis. *Foot Ankle Int*. 2006;27(10):780-7.
141. Dekker TJ, Walton D, Vinson EN, Hamid KS, Federer AE, Easley ME, et al. Hindfoot Arthritis Progression and Arthrodesis Risk After Total Ankle Replacement. *Foot & Ankle International*. 2017;38(11):1183-7.
142. Thomas R, Daniels TR, Parker K. Gait analysis and functional outcomes following ankle arthrodesis for isolated ankle arthritis. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2006;88(3):526-35.
143. Kerkhoff YR, Kosse NM, Metsaars WP, Louwerens JW. Long-term Functional and Radiographic Outcome of a Mobile Bearing Ankle Prosthesis. *Foot Ankle Int*. 2016;37(12):1292-302.

144. Fuentes-Sanz A, Moya-Angeler J, Lopez-Oliva F, Forriol F. Clinical outcome and gait analysis of ankle arthrodesis. *Foot Ankle Int.* 2012;33(10):819-27.
145. Besse JL, Brito N, Lienhart C. Clinical evaluation and radiographic assessment of bone lysis of the AES total ankle replacement. *Foot Ankle Int.* 2009;30(10):964-75.
146. Deleu P-A, Devos Bevernage B, Gombault V, Maldague P, Leemrijse T. Intermediate-term Results of Mobile-bearing Total Ankle Replacement. *Foot & Ankle International.* 2014;36(5):518-30.
147. San Giovanni TP, Keblish DJ, Thomas WH, Wilson MG. Eight-year results of a minimally constrained total ankle arthroplasty. *Foot Ankle Int.* 2006;27(6):418-26.
148. Jung HG, Shin MH, Lee SH, Eom JS, Lee DO. Comparison of the outcomes between two 3-component total ankle implants. *Foot Ankle Int.* 2015;36(6):656-63.
149. Sproule JA, Chin T, Amin A, Daniels T, Younger AS, Boyd G, et al. Clinical and radiographic outcomes of the mobility total ankle arthroplasty system: early results from a prospective multicenter study. *Foot Ankle Int.* 2013;34(4):491-7.
150. Chraim M, Krenn S, Alrabai HM, Trnka HJ, Bock P. Mid-term follow-up of patients with hindfoot arthrodesis with retrograde compression intramedullary nail in Charcot neuroarthropathy of the hindfoot. *The bone & joint journal.* 2018;100-B(2):190-6.
151. Muir D, Aoina J, Hong T, Mason R. The outcome of the Mobility total ankle replacement at a mean of four years: Can poor outcomes be predicted from pre- and post-operative analysis? *The bone & joint journal.* 2013;95-B(10):1366-71.
152. Lagaay PM, Schubert JM. Analysis of ankle range of motion and functional outcome following total ankle arthroplasty. *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons.* 2010;49(2):147-51.
153. Wood PL, Karski MT, Watmough P. Total ankle replacement: the results of 100 mobility total ankle replacements. *J Bone Joint Surg Br.* 2010;92(7):958-62.
154. Summers JC, Bedi HS. Reoperation and patient satisfaction after the Mobility total ankle arthroplasty. *ANZ J Surg.* 2013;83(5):371-5.
155. Espinosa N, Klammer G, Wirth SH. Osteolysis in Total Ankle Replacement: How Does It Work? *Foot and ankle clinics.* 2017;22(2):267-75.
156. Karantana A, Hobson S, Dhar S. The scandinavian total ankle replacement: survivorship at 5 and 8 years comparable to other series. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468(4):951-7.
157. Manegold S, Springer A, Landvoigt K, Tsitsilonis S. Heterotopic ossification after total ankle replacement: The role of prosthesis alignment. *Foot and Ankle Surgery.* 2017;23(2):122-7.
158. Jung H-G, Lee S-H, Shin M-H, Lee D-O, Eom J-S, Lee J-S. Anterior Heterotopic Ossification at the Talar Neck After Total Ankle Arthroplasty. *Foot & Ankle International.* 2016;37(7):703-8.

159. Arcangelo J, Guerra-Pinto F, Pinto A, Grenho A, Navarro A, Martin Oliva X. Peri-prosthetic bone cysts after total ankle replacement. A systematic review and meta-analysis. *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*. 2017.
160. Noelle S, Egidy CC, Cross MB, Gebauer M, Klauser W. Complication rates after total ankle arthroplasty in one hundred consecutive prostheses. *Int Orthop*. 2013;37(9):1789-94.
161. Koivu H, Kohonen I, Mattila K, Loyttyniemi E, Tiusanen H. Medium to long-term results of 130 Ankle Evolutive System total ankle replacements—Inferior survival due to peri-implant osteolysis. *Foot and Ankle Surgery*. 2017;23(2):108-15.
162. Di Iorio A, Viste A, Fessy MH, Besse JL. The AES total ankle arthroplasty analysis of failures and survivorship at ten years. *Int Orthop*. 2017;41(12):2525-33.
163. Napiontek M, Jaszczak T. Ankle arthrodesis from lateral transfibular approach: analysis of treatment results of 23 feet treated by the modified Mann's technique. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2015;25(7):1195-9.
164. Kappler C, Staubach R, Abdulazim A, Kemmerer M, Walter G, Hoffmann R. [Hindfoot arthrodesis for post-infectious ankle destruction using an intramedullary retrograde hindfoot nail]. *Der Unfallchirurg*. 2014;117(4):348-54.
165. Usuelli FG, Maccario C, Pantalone A, Serra N, Tan EW. Identifying the learning curve for total ankle replacement using a mobile bearing prosthesis. *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*. 2017;23(2):76-83.
166. Gramlich Y, Neun O, Klug A, Buckup J, Stein T, Neumann A, et al. Total ankle replacement leads to high revision rates in post-traumatic end-stage arthrosis. *Int Orthop*. 2018;42(10):2375-81.
167. Rosello Anon A, Martinez Garrido I, Cervera Deval J, Herrero Mediavilla D, Sanchez Gonzalez M, Vicent Carsi V. Total ankle replacement in patients with end-stage ankle osteoarthritis: clinical results and kinetic gait analysis. *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*. 2014;20(3):195-200.
168. Palanca A, Mann RA, Mann JA, Haskell A. Scandinavian Total Ankle Replacement: 15-Year Follow-up. *Foot Ankle Int*. 2018;39(2):135-42.
169. Bonnin M, Gaudot F, Laurent J-R, Ellis S, Colombier J-A, Judet T. The Salto Total Ankle Arthroplasty: Survivorship and Analysis of Failures at 7 to 11 years. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*. 2010;469(1):225-36.
170. Chao J, Choi JH, Grear BJ, Tenenbaum S, Bariteau JT, Brodsky JW. Early radiographic and clinical results of Salto total ankle arthroplasty as a fixed-bearing device. *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*. 2015;21(2):91-6.
171. Claridge RJ, Sagherian BH. Intermediate term outcome of the agility total ankle arthroplasty. *Foot Ankle Int*. 2009;30(9):824-35.
172. Deleu PA, Devos Bevernage B, Gombault V, Maldague P, Leemrijse T. Intermediate-term Results of Mobile-bearing Total Ankle Replacement. *Foot Ankle Int*. 2015;36(5):518-30.
173. Dhawan R, Turner J, Sharma V, Nayak RK. Tri-component, mobile bearing, total ankle replacement: mid-term functional outcome and survival. *The*

Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons. 2012;51(5):566-9.

174. Giannini S, Romagnoli M, O'Connor JJ, Malerba F, Leardini A. Total ankle replacement compatible with ligament function produces mobility, good clinical scores, and low complication rates: an early clinical assessment. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468(10):2746-53.
175. Kopp FJ, Patel MM, Deland JT, O'Malley MJ. Total Ankle Arthroplasty With the Agility Prosthesis: Clinical and Radiographic Evaluation. *Foot & Ankle International.* 2016;27(2):97-103.
176. Yoon HS, Lee J, Choi WJ, Lee JW. Periprosthetic Osteolysis after Total Ankle Arthroplasty. *Foot & Ankle International.* 2013;35(1):14-21.
177. Morgan SS, Brooke B, Harris NJ. Total ankle replacement by the Ankle Evolution System: medium-term outcome. *J Bone Joint Surg Br.* 2010;92(1):61-5.
178. Usuelli FG, Pantalone A, Maccario C, Guelfi M, Salini V. Sports and Recreational Activities following Total Ankle Replacement. *Joints.* 2017;5(1):12-6.
179. Pinar N, Vernet E, Bizot P, Brilhault J. Total ankle arthroplasty - total ankle arthroplasty in Western France: influence of volume on complications and clinical outcome. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2012;98(4 Suppl):S26-30.
180. Ramaskandhan JR, Kakwani R, Kometa S, Bettinson K, Siddique MS. Two-year outcomes of MOBILITY Total Ankle Replacement. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 2014;96(7):e53.
181. Reuver JM, Dayerizadeh N, Burger B, Elmans L, Hoelen M, Tulp N. Total ankle replacement outcome in low volume centers: short-term followup. *Foot Ankle Int.* 2010;31(12):1064-8.
182. Kurup HV, Taylor GR. Medial impingement after ankle replacement. *Int Orthop.* 2008;32(2):243-6.
183. Bai LB, Lee KB, Song EK, Yoon TR, Seon JK. Total ankle arthroplasty outcome comparison for post-traumatic and primary osteoarthritis. *Foot Ankle Int.* 2010;31(12):1048-56.

## 8. Anhang

### 8.1 Patientenanschreiben

Sehr geehrte/r Patient/in,

Sie haben sich vor einiger Zeit einer Sprunggelenksoperation in der BG Klinik Tübingen unterzogen. Für die operative Behandlung der Arthrose des oberen Sprunggelenks wurde bisher die Arthrodese (Versteifung) des oberen Sprunggelenks als Goldstandard erachtet. In den vergangenen Jahren hat sich durch technische Verbesserungen die Implantation einer Sprunggelenksendoprothese als Alternative etabliert.

In der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen wurden beide Verfahren (Arthrodese und Prothese) am Sprunggelenk erfolgreich angewendet. Die bisherigen Langzeituntersuchungen zeigten für beide Verfahren Vor- und Nachteile.

Für die Versteifung (Arthrodese) des oberen Sprunggelenkes wird als Vorteil die Endgültigkeit des Verfahrens mit einer adäquaten Schmerzreduktion angesehen. Als Nachteil ist im Langzeitverlauf die Entwicklung von Anschlussarthrosen (Fußwurzel- und Kniegelenke) zu nennen.

Für die Implantation der Sprunggelenksprothese wird als Vorteil der Erhalt der Beweglichkeit angesehen mit einer damit verbundenen Vermeidung von Anschlussarthrosen (Fußwurzel- und Kniegelenke). Als Nachteil ist die Restbeschwerdesymptomatik und die reduzierte Standzeit wegen Lockerung der Endoprothesen zu nennen.

Derzeit werden in Deutschland pro Jahr etwa 10.000 Arthrodesen des oberen Sprunggelenkes und ca. 1500-1800 OSG-Endoprothesen-Implantationen durchgeführt. Bisher existiert jedoch keine Studie (Nachuntersuchung) mit einer repräsentativen Anzahl von Patienten, die die Ergebnisse (Patientenzufriedenheit, Komplikationen, etc.) direkt vergleicht.

Daher hat sich unsere Klinik entschlossen eine systematische, rückblickende Untersuchung zur Beurteilung der beiden Operationsverfahren durchzuführen.

Wir möchten Sie hiermit zu einer Nachuntersuchung in unserer Klinik einladen. Dazu werden Ihr Sprunggelenk, aber auch die angrenzenden Gelenke (Knie- und Fußwurzelgelenke) untersucht. Um Ihre subjektive Zufriedenheit möglichst repräsentativ einzuschätzen haben Sie die Möglichkeit einen Fragebogen auszufüllen. Eine Röntgenaufnahme ihres Sprunggelenkes bieten wir Ihnen bei Problemen oder Wunsch Ihrerseits nach einer fachärztlichen Beratung an (nicht zwingend erforderlich bzw. freiwillig). Somit sind keine studienbedingten Maßnahmen vorgesehen, die für Sie eine körperliche Belastung nach sich ziehen. Wir haben uns zum Ziel gesetzt möglichst viele Patienten, insgesamt jedoch mindestens 140 für diese Studie zu untersuchen.

Für diese Nachuntersuchungen hat die Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Tübingen keine zusätzliche Wegeunfallversicherung für Sie abgeschlossen. Das Studienvorhaben und die damit verbundene Vorgehensweise wurde von der

Ethikkommission der Eberhard-Karls-Universität Tübingen berufsrechtlich beraten. Die Teilnahme an dieser Nachuntersuchung ist freiwillig.

Wir versichern Ihnen, dass alle Angaben absolut vertraulich behandelt werden und nur dazu dienen, das Behandlungsergebnis ihrer Verletzung zu objektivieren. Alle erhobenen Daten werden anonymisiert und unter Berücksichtigung des Datenschutzgesetzes ausgewertet. Die Daten werden auf einem Klinikexternen Rechner für 10 Jahre gespeichert (Empfehlung der DFG).

Diese Studie wird von Herrn Oberarzt Prof. Dr. med. A. Ateschrang betreut, wobei Sie gerne aufkommende Fragen telefonisch klären können (bitte ab 8:00Uhr, Tel: 01636742349, Fax: 07071 / 606-1186, E-mail: fscholtis@bgu-tuebingen.de).

An dieser Stelle möchten wir Sie bitten, uns den beiliegenden Einwilligungsbogen mit Zustimmung oder Ablehnung per Post, per Fax oder E-mail zuzusenden, damit wir die rechtlichen Grundlagen dieser Untersuchung erfüllen können. Gerne können Sie den Einwilligungsbogen auch zur Untersuchung mitbringen.

Der Datenschutz und die damit verbundene ärztliche Schweigepflicht wird eingehalten, da das Fax-Gerät im Oberarztsekretariat lokalisiert ist.

Wir möchten Sie ausdrücklich darauf aufmerksam machen, dass Sie die erteilte Einwilligung jederzeit auch später ohne Nennung von Gründen jederzeit zurückziehen können. Daraus resultieren keine Nachteile oder Konsequenzen für Sie.

Für Rückfragen bzw. zur Terminabsprache setzen wir uns in den nächsten Tagen telefonisch mit Ihnen in Verbindung.

Wir würden uns sehr freuen, wenn Sie sich entschließen könnten, an dieser Studie teilzunehmen. Die Analyse dieser Behandlungsergebnisse erlaubt uns in Zukunft weitere Verbesserungen der Patientenversorgung erarbeiten zu können. Wir bedanken uns für Ihre Mithilfe und stehen Ihnen für weitere Fragen zu Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. med. U. Stöckle  
Ärztlicher Direktor

Prof. Dr. med. A. Ateschrang  
Geschäftsführender Oberarzt

## 8.2 Einwilligungserklärung

### Information zum Datenschutz

Ihre im Rahmen der wissenschaftlichen Untersuchung erhobenen Daten werden vertraulich behandelt und ausschließlich in verschlüsselter Form aufgearbeitet. Die für die wissenschaftliche Untersuchung wichtigen Daten werden in verschlüsselter (anonymisiert, ohne Namensnennung) Form in einen gesonderten Dokumentationsbogen eingetragen.

Die Zuordnung der verschlüsselten Daten zu Ihrer Person ist nur anhand einer Patientenliste möglich, die in einem verschlossenen Schrank, getrennt von den Studienunterlagen aufbewahrt wird und nur dem Studienleiter und dem Ärztlichen Direktor der Abteilung zugänglich ist. Die Daten werden für die Dauer von 10 Jahren in der BG Klinik Tübingen aufbewahrt.

Sollten Sie von der Studie zurücktreten, können Sie entscheiden, ob die bereits vorliegenden Daten vernichtet werden müssen oder weiterverwendet werden dürfen.

### Einwilligungserklärung gemäß § 4 a Abs. 1 Bundesdatenschutzgesetz

Ich erkläre mich mit der Verwendung der im Rahmen der Studie

#### **„Behandlung der oberen Sprunggelenksarthrose: Prognose der Arthrodeese und Totalendoprothese - eine retrospektiv klinische Studie“**

erhobenen Daten in der oben beschriebenen Weise einverstanden. Ich kann jederzeit meine Daten beim Studienleiter einsehen.

Ich wurde über die Ziele der Studie aufgeklärt. Die Teilnahme an der Untersuchung ist vollkommen freiwillig. Mein Einverständnis kann jederzeit ohne Angabe von Gründen formlos widerrufen werden (ohne Nachteile).

Ich wurde informiert, dass keine Probandenversicherung abgeschlossen wurde.

---

Datum

---

Unterschrift

---

Name des Patienten/der Patientin in Blockschrift

---

### 8.3 Anamnesebogen

#### Behandlung der oberen Sprunggelenksarthrose: Prognose der Arthrodeese und Totalendoprothese

##### 1. Anamnese

Datum: \_\_\_\_\_

Patienten Nr.: \_\_\_\_\_

Geburtsdatum: \_\_\_\_|\_\_\_\_|\_\_\_\_

Geschlecht: M  W 

Größe: \_\_\_\_\_

1. Berufstätig:
2. Berentet:
3. Nicht berufstätig:
4. Umschulung nötig:

Begleiterkrankungen: \_\_\_\_\_

Voroperationen: \_\_\_\_\_

Lebensqualität vor der Operation:

1. Hoch:
2. Mittel:
3. Niedrig:

Schmerzmedikation vor der Operation:

1. Bei Bedarf:
2. Dauermedikation:
3. Keine:

Diagnose: \_\_\_\_\_



## Ursache:

1. Posttraumatisch:
2. Aseptische Knochennekrose:
3. Angeborene/Erworbene Fußfehlstellung:
4. Primäre Arthrose:
5. Sonstige:  \_\_\_\_\_

Aufnahmedatum: \_\_\_\_|\_\_\_\_|\_\_\_\_ Entlassungsdatum: \_\_\_\_|\_\_\_\_|\_\_\_\_

Operationsdatum: \_\_\_\_|\_\_\_\_|\_\_\_\_

## Patientengruppe:

1. Primäre Arthrodesen:
2. Sekundäre Arthrodesen nach Arthrodesen:
3. Sekundäre Arthrodesen nach Prothese:
4. Primäre Prothese:

## Operationsmethode:

1. OSG-Schraubenarthrodese:
2. Charnley-Fixateur OSG:
3. Charnley-Fixateur OSG+USG:
4. Nagelarthrodese OSG+USG:
5. Prothese (MOBILITY®):

## Genauere Angaben zur Operation:

---

---

---

## Resektion:

1. Innenknöchel:
2. Außenknöchel:
3. Innen + Außenknöchel:
4. Keine Resektion:

Anästhesieverfahren: \_\_\_\_\_

Stationärer Aufenthalt: \_\_\_\_\_Tage

Komplikationen: \_\_\_\_\_

Operateur: \_\_\_\_\_

Voroperationen: \_\_\_\_\_

Revision:  Datum: \_\_\_\_|\_\_\_\_|\_\_\_\_

Grund: \_\_\_\_\_

Operation: \_\_\_\_\_

## Lebensqualität nach der Operation:

1. Hoch:
2. Mittel:
3. Niedrig:

Schmerzmedikation *nach* Operation:

1. Bei Bedarf:
2. Dauermedikation:
3. Keine:

Sportlich *aktiv vor* der Operation:

1. Ja:
2. Nein:

Sportlich aktiv *nach* der Operation:

1. Ja:
2. Nein:

Zufriedenheit:

1. Sehr zufrieden:
2. Zufrieden:
3. Bedingt zufrieden:
4. Unzufrieden:
5. Sehr unzufrieden:

Würden Sie die Operation nach Ihrem jetzigen Kenntnisstand erneut durchführen lassen?

3. Ja:
4. Nein:

Warum haben Sie sich für dieses Operationsverfahren entschieden?

---

---

**2. Klinische Untersuchung:**

Inspektion:

Muskelatrophie der Wade:

1. Ja:
2. Nein:

Beinlängendifferenz:

1. Ja:
2. Nein:

Rückfußachse:

1. Gerade:
2. Varus:
3. Valgus:

Sonstige Auffälligkeiten: \_\_\_\_\_

Gangbild (Barfuß & ohne Hilfsmittel, 5m): Foto/Videodokumentation:

Palpation:

pDMS:

1. Intakt:
2. Nein:  \_\_\_\_\_

Talusvorschub:

1. Ja:
2. Nein:

Aufklappbarkeit medial:

1. Ja:
2. Nein:

Aufklappbarkeit lateral:

1. Ja:
2. Nein:

Motorik:

Kraftprüfung nach Janda

1. Fuß: 1/5  2/5  3/5  4/5  5/5
2. Unterschenkel: 1/5  2/5  3/5  4/5  5/5
3. Oberschenkel: 1/5  2/5  3/5  4/5  5/5

## Knie-ROM:

Extension:

1. 0-5°:
2. Keine Bewegung:

Flexion:

1. 0-50°:
2. 50-100°:
3. 100-120°:
4. 120-140°:
5. 140-150°:

## OSG/USG-ROM:

Dorsalextension:

1. 0-5°:
2. 6-10°:
3. 11-15°:
4. 16-20°:
5. Keine Bewegung:

Plantarflexion:

1. 0-5°:
2. 6-10°:
3. 11-15°:
4. 16-20°:
5. 21-30°:
6. <30°:
7. Keine Bewegung:

Eversion:

1. 0-5°:
2. 6-10°:
3. 11-15°:
4. keine Bewegung:

Inversion:

1. 0-5°:
2. 6-10°:
3. 11-15°:
4. 16-20°:
5. 21-25°:
6. keine Bewegung:

Pronation:

1. 0-5:
2. 6-10°:
3. 11-15°:
4. keine Bewegung:

Supination:

1. 0-5°:
2. 6-10°:
3. 11-15°:
4. 16-20°:
5. 21-30°:
6. <30°:
7. keine Bewegung:

**3. Radiologische Untersuchung:**

Datum: \_\_\_\_|\_\_\_\_|\_\_\_\_

Gewünscht:  Nicht gewünscht: Befund:

Knöcherner Durchbauung OSG:

AP (med>lat): 1/3  2/3  3/3 Seitlich (ant>post): 1/3  2/3  3/3 

Knöcherner Durchbauung USG:

Seitlich (ant>post): 1/3  2/3  3/3 

Anschlussarthrose nach Kellgren &amp; Lawrence:

USG: 0  1  2  3  4 Chopart: 0  1  2  3  4 Lisfranc: 0  1  2  3  4 Rückfußachse im Harrisview: \_\_\_\_\_° Varus:  Valgus: Lateraler Dorsalextensions/-flexionswinkel: \_\_\_\_\_° Varus:  Valgus: 

Alignment der tibialen und talaren Prothesenkomponente zueinander in der Frontalebene: \_\_\_\_\_°

Alignment der tibialen Prothesenkomponente in der Frontalebene: \_\_\_\_\_°

Slope der tibialen Komponente in der Sagittalebene: \_\_\_\_\_°

Anterior:  Posterior: 

Projektion der talaren im Verhältnis zur tibialen Komponente in der Frontalebene: \_\_\_\_\_°

Projektion der talaren- im Verhältnis zur tibialen Komponente in der Sagittalebene: \_\_\_\_\_°

Lockerung tibial a.p.: Zone 1  2  3  4  5 Lockerung tibial seitlich: Zone 6  7  8  9  10 Lockerung talar seitlich: Zone 1  2  3

Heterogene Ossifikationen nach Lee et al. (Grad 0-4):

- Posterolateral: 0  1  2  3  4
- Posteromedial: 0  1  2  3  4
- Anteromedial: 0  1  2  3  4
- Anterolateral: 0  1  2  3  4

**Notizen:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



## 8.4 AOFAS-Score

<b>Schmerzen (40)</b>	Keine	40 <input type="checkbox"/>
	Gering, gelegentlich	30 <input type="checkbox"/>
	Mäßig, täglich	20 <input type="checkbox"/>
	Sehr stark, fast immer	0 <input type="checkbox"/>
<b>Funktion (50)</b> <b>Aktivitäten, Gehhilfen</b> <small>*Aktivitäten des täglichen Lebens</small>	Keine Einschränkungen, keine Gehhilfen	10 <input type="checkbox"/>
	Einschränkungen beim Sport, keine bei ADL*, keine Gehhilfen	7 <input type="checkbox"/>
	Einschränkungen bei Sport und ADL, Gehstock	4 <input type="checkbox"/>
	Hochgradige Einschränkungen beim Sport und ADL, Gehbock/Unterarmgehstützen, Rollstuhl, Gips, Orthese	0 <input type="checkbox"/>
<b>Gehstrecke</b>	Mehr als 600m	5 <input type="checkbox"/>
	400-600m	4 <input type="checkbox"/>
	100-300m	2 <input type="checkbox"/>
	Weniger als 100m	0 <input type="checkbox"/>
<b>Bodenbelag/-profil</b>	Keine Probleme, unabhängig vom Untergrund	5 <input type="checkbox"/>
	Leichte Probleme auf unebenem/schrägem Grund, mit Treppen/Leitern	3 <input type="checkbox"/>
	Arge Probleme auf unebenem/schrägem Grund, mit Treppen/Leitern	0 <input type="checkbox"/>
<b>Gehfehler</b>	Keiner oder nur diskret	8 <input type="checkbox"/>
	Offensichtlich	4 <input type="checkbox"/>
	Deutlich/ausgeprägt	0 <input type="checkbox"/>
<b>ROM (Range of Motion E/F**)</b> <small>**Extension/Flexion</small>	Normal/leicht eingeschränkt (Summe >29°)	8 <input type="checkbox"/>
	Mäßig eingeschränkt (Summe 15-29°)	4 <input type="checkbox"/>

	Stark eingeschränkt (Summe <15°)	0 <input type="checkbox"/>
<b>ROM Rückfuß (Inversion/Eversion)</b>	Normal/leichte eingeschränkt (75-100% des Normalwertes)	6 <input type="checkbox"/>
	Mäßig eingeschränkt (25-74% des Normalwertes)	3 <input type="checkbox"/>
	Deutlich eingeschränkt (<25% des Normalwertes)	0 <input type="checkbox"/>
<b>OSG/USG Stabilität a.p.</b>	Stabil	8 <input type="checkbox"/>
	Instabil	0 <input type="checkbox"/>
<b><u>Alignment (10)</u></b>	Plantigrad, keine Abweichungen	10 <input type="checkbox"/>
	Plantigrad, geringgradige Abweichungen	8 <input type="checkbox"/>
	Nicht plantigrad, hochgradige Abweichungen	0 <input type="checkbox"/>
<b>Gesamtpunktzahl (max.100)</b>		

90-100 Punkte	Exzellente
75-89 Punkte	Gut
60-74 Punkte	Mittelmäßig
<60 Punkte	Schlecht

## 8.5 Ergänzungen zur Studienlage 2004-2018

## 8.5.1 AOFAS-Score

AA, OSG	Evidenzlevel	Jahr	N	Ø Follow-up (Jahre)	AOFAS Schmerz	AOFAS Funktion	AOFAS Alignment	AOFAS Gesamt (Pkt)	Schlussfolgerung/Hinweise
Jones et al. (100)	IV, therapeutische Fallserie	2018	AAA = 101	AAA = 7,2	-	-	-	AAA = 83,3	-
Kiene et al. (97)	III, retrospektiv	2009	AA-FE = 95	AA-FE = 4,4	-	-	-	AA-FE = 69,3 (±21,5)	- Signifikante (p=0,004) Verbesserung von prä- zu postoperativ
Gordon et al. (104)	IV, retrospektive Fallserie	2013	AA = 57	AA = 4	-	-	-	AA = 70	-
Hendrickx et al. (106)	III, retrospektiv	2011	AA = 66	AA = 9	AA = 30	AA = 30	AA = 5	AA = 67	-
Kennedy et al. (107)	IV, therapeutische Fallserie	2005	AA = 41	AA = 3	-	-	-	AA = 80,6	-
Napiontek et al. (163)	III, retrospektiv	2015	AA = 23	AA = 2,6	-	-	-	AA = 76	-
Smith et al. (113)	IV, retrospektive Fallserie	2013	AA = 50	AA = 1,5	AA = 34 (±7)	AA = 41 (±8)	AA = 9 (±2)	AA = 84 (±12)	-
Strasser et al. (114)	IV, retrospektive Fallserie	2012	AA = 22	AA = 2,2	-	-	-	AA = 73 (±11,5)	-
Thomas et al. (142)	III, therapeutisch	2006	AA = 26	AA = 3,6	-	-	-	AA = 74,08 (±14,5)	-
Zwipp et al. (116)	IV, therapeutisch	2010	AA = 72	AA = 5,9	-	-	-	AA = 84,7	-
Fuentes-Sanz et al. (144)	IV, Fallserie	2012	AA = 20	AA = 3	-	-	-	AA = 50	-
Hendrickx et al. (105)	III, retrospektiv	2011	AA = 30	AA = 9,2	-	-	-	AA = 66 (±12)	-

AAOSG + USG	Evidenzlevel	Jahr	N	Ø Follow-up (Jahre)	AOFAS Schmerz	AOFAS Funktion	AOFAS Alignment	AOFAS Gesamt (PK)	Schlussfolgerung/Hinweise
Emara et al. (91)	III, retrospektiv	2018	NA = 42	NA = 1	-	-	-	NA = 71,19 (±11,4)	Charcot-Arthropathie
Hernandez et al. (94)	IV, therapeutische Fallserie	2015	NA = 49	NA = 3	38,2 (±4,9)	-	-	NA = 65,8 (±14,7)	-
Chralim et al. (98)	III, retrospektiv	2018	NA = 19	NA = 3,9	-	-	-	NA = 71,5	Charcot-Arthropathie
Biz et al. (150)	IV, longitudinal retrospektiv	2016	NA = 28	NA 2,0	-	-	-	NA = 68,28 (±5)	Signifikante (p=0,06) Verbesserung von prä-zu postoperativ
Budnar et al. (92)	IV, Fallserie	2010	NA = 45	NA = 4	-	-	-	NA = 69	-
Fang et al. (93)	III, retrospektiv	2015	NA = 22	NA = 1,9	-	-	-	NA = 69,9	-
Goebel et al. (123)	II, prospektiv	2006	NA = 29	NA = 2	-	-	-	NA = 71	-
Hammet et al. (126)	III, retrospektiv	2005	NA = 47	NA = 2,8	-	-	-	NA = 63	-
Kappler et al. (164)	III, retrospektiv	2013	NA = 49	NA = 1,5	-	-	-	NA = 50	-
Klos et al. (128)	III, retrospektiv	2009	NA = 29	NA = 1,3	-	-	-	NA = 64	-
Mückley et al. (132)	III, retrospektiv	2011	NA = 55	NA = 1,3	-	-	-	NA = 67	-
Anderson et al. (118)	III, retrospektiv	2005	NA = 25	NA = 3	-	-	-	NA = 69	-
Gross et al. (125)	IV retrospektive Fallserie	2013	NA = 30	NA = 2,1	-	-	-	NA = 59	-

TAR	Evidenzlevel	Jahr	N	Ø Follow-up (Jahre)	AOFAS Schmerz	AOFAS Funktion	AOFAS Alignment	AOFAS Gesamt (Pkt)	Schlussfolgerung/Hinweise
Usueili et al. (165)	II, prospektiv	2017	HINTEGRA = 31	HINTEGRA = 2	-	-	-	HINTEGRA = 69,9	Signifikante Verbesserung im Vergleich zu präoperativ (p=<0,001)
Di Iorio et al. (162)	IV, prospektive Fallserie	2017	AES = 30	AES = 3,3	-	-	-	AES Präoperativ = 36 (±20) AES nach 5 Jahren = 85 (±11) AES nach 10 Jahren = 75 (±20)	Signifikante Verschlechterung im Vergleich zu 10 Jahren (p=0,009)
Gramlich et al. (166)	III, retrospektiv	2017	SALTO = 60	SALTO = 4,9	-	-	-	SALTO ALLE = 55,15 SALTO REVISION = 38,84 NONREVISION = 66,8	Signifikante Unterschiede zwischen der Gruppe Revision und Nonrevision (p=<0,001)
Anon et al. (167)	III, retrospektiv	2014	HINTEGRA = 18	HINTEGRA = 3,0	32	41	10	HINTEGRA = 83,1	-
Palanca et al. (168)	IV, Fallserie	2018	STAR = 21	STAR = 15,7	-	-	-	STAR = 71,6	-
Besse et al. (145)	IV, retrospektive Fallserie	2009	AES = 50	AES = 3,3	29,6 (±8,1)	45,9 (±5,5)	9,3 (±2,3)	AES = 85,4 (±12)	Signifikante Verbesserung im Vergleich zu präoperativ (p=<0,001)
Bonnin et al. (169)	IV, therapeutisch	2010	SALTO = 87	SALTO = 8,9	-	-	-	SALTO = 79,3 (±11,9)	Signifikante Verbesserung im Vergleich zu präoperativ (p=<0,05)
Chao et al. (170)	IV, prospektive Fallserie	2015	SALTO = 23	SALTO = 3	-	-	-	SALTO = 88	Beide Modelle zeigen eine signifikante Verbesserung von prä- zu postoperativ (p=<0,001). Kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Modellen.
Choi et al. (70)	III, retrospektiv	2013	67 (HINTEGRA = 32 MOBILITY = 35)	HINTEGRA = 4,4 MOBILITY = 2,8	-	-	-	HINTEGRA = 81,84 MOBILITY = 83,71	Signifikante Verbesserung im Vergleich zu präoperativ (p=<0,0001)
Claridge et al. (171)	IV, retrospektive Fallserie	2009	AGILITY = 25	AGILITY = 4,9	30,4	37,2	-	AGILITY = 76,4 (p<0,001)	Signifikante Verbesserung im Vergleich zu präoperativ (p=<0,0001)
Deleu et al. (172)	IV, retrospektive Fallserie	2015	HINTEGRA = 50	HINTEGRA = 3,8	-	-	-	HINTEGRA = 83,8	-
Dhawan et al. (173)	IV, retrospektive Fallserie	2012	BUACHEL-PAPPAS = 30	BUACHEL-PAPPAS = 5,1	-	-	-	BUACHEL-PAPPAS nach 1 Jahr = 81	-
Giannini et al. (174)	IV, therapeutisch	2010	BOX = 51	BOX = 2,5	-	-	-	-	-
Jung et al. (148)	III, vergleichende Serie	2015	52 (HINTEGRA = 21 MOBILITY = 33)	HINTEGRA = 2,3 MOBILITY = 2,7	-	-	-	HINTEGRA = 87,3 MOBILITY = 83,7	Signifikante Verbesserung im Vergleich zu präoperativ in beiden Gruppen (p=<0,001)

TAR	Evidenzlevel	Jahr	N	Ø Follow-up (Jahre)	AOFAS Schmerz	AOFAS Funktion	AOFAS Alignment	AOFAS Gesamt (Pkt.)	Schlussfolgerung/Hinweise
Karantana et al. (156)	IV, therapeutisch	2010	STAR = 52	STAR = 6,6	-	-	-	STAR = 78 (±18)	-
Kopp et al. (175)	IV, retrospektive Fallserie	2006	AGILITY = 38	AGILITY = 3,7	-	-	-	AGILITY = 83,3	Signifikante Verbesserung im Vergleich zu präoperativ (p=<0,001)
Yoon et al. (176)	IV, Fallserie	2013	HINTEGRA = 99	HINTEGRA = 3,4	-	-	-	Mit Osteolyse = 81,3 Ohne Osteolyse = 85,1 (p=0,082) AES = 88,1	Kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen
Morgan et al. (177)	III, retrospektiv	2010	AES = 45	AES = 4,79	-	-	-	STAR = 75,99	Signifikante Verbesserung im Vergleich zu präoperativ (p=<0,005)
Noelle et al. (160)	III, retrospektiv	2013	STAR = 97	STAR = 3	-	-	-	HINTEGRA = 72,6 (±13,3)	Signifikante Verbesserung im Vergleich zu präoperativ (p=<0,001)
Usueili et al. (178)	IV, retrospektive Fallserie	2017	HINTEGRA = 76	HINTEGRA = 1	-	-	-	77 (±15)	Signifikante Verbesserung im Vergleich zu präoperativ
Pinar et al. (179)	IV, retrospektive Fallserie	2012	183 (91 = SALTO 39 = HINTEGRA 20 = AES 17 = COPPELIA 11 = STAR 4 = RAMSES 1 = AKILE)	3,25	-	-	-	Primäre Arthrose = 76 Posttraumatische Arthrose = 76 Rheumatoide Arthritis = 82 SALTO = 75	-
Ramaskandhan et al. (180)	II, prognostisch	2014	MOBILITY = 106	MOBILITY = 2	-	-	-	MOBILITY = 84,1	Signifikante Verbesserung im Vergleich zu präoperativ (p=<0,001)
Reuver et al. (181)	IV, retrospektive Fallserie	2010	SALTO = 59	SALTO = 2,3	-	-	-	MOBILITY = 74,8	-
Rippstein et al. (67)	IV, therapeutisch	2011	MOBILITY = 233	MOBILITY = 2,7	-	-	-	HINTEGRA = 72,7 (±12,8) TM = 85,0 (±9,7)	Signifikante Verbesserung in beiden Gruppen im Vergleich zu präoperativ (p=<0,001)
Sproule et al. (149)	IV, Fallserie	2013	MOBILITY = 88	MOBILITY = 3,3	-	-	-	BUECHEL-PAPPAS = 81	-
Usueili et al. (99)	IV, retrospektive Fallserie	2017	95 (HINTEGRA = 71 TM = 24)	HINTEGRA = 1 TM = 1	-	-	-	BUECHEL-PAPPAS = 72	Kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen
San Giovanni et al. (147)	III, retrospektiv	2006	BUECHEL-PAPPAS = 28	BUECHEL-PAPPAS = 8,3	-	-	-	Posttraumatisch = 85 Primäre OA = 88	-
Kurup et al. (182)	III, retrospektiv	2008	BUECHEL-PAPPAS = 34	BUECHEL-PAPPAS = 2,8	-	-	-		
Bai et al. (183)	III, retrospektiv	2010	HINTEGRA = 67	HINTEGRA = 3,1	-	-	-		

AA = OSG-Arthrose; OSG+USG-A = OSG+USG-Arthrose; TAR = Prothese; N = Anzahl; Pkt. = Punkte; ns = nicht signifikant; AA-FE = OSG-Arthrose mittels Fixateur externe; AAA = Arthroskopisch assistierte OSG-Arthrose; NA = Nagelarthrose;

## 8.5.2 Knöchel-Konsolidierung nach Arthrodesen

	Evidenzlevel	Jahr	Operationsverfahren	Konsolidierungsrate in %	Nonunion in %	Notizen
Saltzman et al. (81)	II, prospektiv kontrolliert	2009	AA = 66 SA	AA = 97	AA = 3,0	Kein CT
Krause et al. (76)	III, retrospektiv	2011	AA = 47	AA = 96	AA = 4,0	
Saltzman et al. (75)	III, retrospektiv	2010	AA = 14 SA; 10 SA/PA (komb.); 3 FE	AA = 92,6	AA = 7,4	
De Leuw et al. (54)	IV, prospektive Kohortenstudie	2016	AAA = 40	AAA = 100	AAA = 0	
Jones et al. (100)	IV, therapeutische Fallserie	2017	AAA = 101	AAA = 94,6	AAA = 5,4	
Kiene et al. (97)	III, retrospektiv	2009	AA = 95 FE	AA = 95,5	AA = 4,5	
Akra et al. (101)	III, retrospektiv	2010	AA = 26 SA	AA = 100	AA = 0	CT Untersuchungen waren in 2 Fällen notwendig um die Durchbauung zu bestätigen Charcot-Arthropathie ausgeschlossen
Chalayon et al. (102)	III, retrospektiv	2015	AA = 147 SA, 72 PA	AA = 91	AA = 9	
Firoozabadi et al. (103)	IV, Fallserie	2017	AA = 17 SA/FE/PA (komb.)	AA = 100	AA 0	
Gordon et al. (104)	IV, retrospektive Fallserie	2013	AA = 82 SA	AA = 100	AA = 0	
Hendrickx et al. (106)	-	2011	AA = 60 SA	AA = 91	AA = 9	
Kennedy et al. (107)	IV, Fallserie	2006	AA = 41 SA	AA = 95	AA = 5	
Kerkhoff et al. (108)	III, retrospektiv	2017	AA = 185	AA = 90,8	AA = 9,2	
Mitchell et al. (109)	III, retrospektiv	2016	AA = 26 SA, 39 SA+PA (komb.)	AA = SA = 84,6 AA = SA+PA = 92,3	AA = SA = 15,4 AA = SA+PA = 7,7	Höhere Fusionsrate bei Kombination von Schrauben und Platte Hohe Fusionsraten wurden in beiden Gruppen erzielt, kein signifikanter Unterschied
Nielsen et al. (111)	III, retrospektiv	2008	58 AAA, 49 SA offen	AAA = 95 AA-offen = 84	AAA = 5 AA-offen = 16	
Prissel et al. (66)	III, retrospektiv	2017	AA = 47 PA, 36 SA	PA = 97,1 SA = 88,9	PA = 2,1 SA = 11,1	Kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen
Quayle et al. (112)	III, retrospektiv	2016	AA = 50 AAA, 29 SA offen	AAA = 98 AA-offen = 83	AAA = 2 AA-offen = 17	Signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen
Smith et al. (113)	IV, retrospektive Fallserie	2013	AA = 50 SA	AA = 93	AA = 7	
Strasser et al. (114)	IV, retrospektive Fallserie	2012	AA = 30	AA = 90	AA = 10	Alle Patienten >70 Jahre
Suda et al. (117)	III, retrospektiv	2016	AA = 74 FE	AA = 85	AA = 15	Septische Arthritis
Townshend et al. (115)	III, therapeutisch	2013	AA = 30 AAA, 30 SA offen	AAA = 96,6 AA-offen = 96,6	AAA = 3,3 AA-offen = 3,3	

	Evidenzlevel	Jahr	Operationsverfahren	Konsolidierungsrate in %	Nonunion in %	Notizen
Zwipp et al. (116)	IV, therapeutisch	2010	AA = 72 SA	AA = 99%	AA = 1%	
Hendrickx et al. (105)	-	2011	AA = 30 SA	AA = 93	AA = 7	
Mückley et al. (110)	III, retrospektiv	2005	AA = 137 NA (antegrad)	AA = 90	AA = 10	
Esparragoza et al. (83)	II, prospektiv	2011	AA = 4 SA; 10 FE; OSG+USG-A = 2 NA	87,5	12,5	
Dujela et al. (121)	III, retrospektiv	2017	OSG+USG-A = 66 NA	OSG+USG-A = 68,2	6,1 im OSG+USG 9,1 im OSG 16,7 im USG	Charcot-Arthropathie ausgeschlossen 22,8% subtotalar nicht durchbaut, jedoch klinisch stumm
Emara et al. (91)	III, retrospektiv	2017	OSG+USG-A = 42 NA	OSG+USG-A = 33,3	OSG+USG-A = 66,7	Alle Patienten litten unter einer Charcot-Arthropathie Trotz unvollständiger Durchbauung zufriedenstellende klinische Ergebnisse
Hernandez et al. (94)	IV, retrospektive Fallserie	2015	OSG+USG-A = 63 NA	OSG+USG-A = 93	OSG+USG-A = 7	
Biz et al. (98)	III, retrospektiv	2016	OSG+USG-A = 28 NA	OSG+USG-A = 100	OSG+USG-A = 0	
Budnar et al. (92)	IV, Fallserie	2010	OSG+USG-A = 45 NA	OSG+USG-A = 89	4,4 im OSG+USG 4,4 im OSG 2,2 im USG	Konsolidiert: AOFAS 76/86 Nicht konsolidiert: AOFAS 59/86
Caixeta et al. (119)	III, retrospektiv	2013	OSG+USG-A = 29 NA	OSG+USG-A = 82	OSG+USG-A = 17,2	
Christodoulou et al. (120)	III, retrospektiv	2006	AA = 23 FE	OSG+USG-A = 91	OSG+USG-A = 9	
Fang et al. (93)	III, retrospektiv	2015	OSG+USG-A = 22 NA	OSG+USG-A = 100	OSG+USG-A = 0	Spongiosaplastik in allen Fällen erfolgt
Fenton et al. (122)	III, retrospektiv	2014	OSG+USG-A = 50 NA	80 im OSG 72 im USG	20 im OSG 28 im USG	OSG>USG Kein CT
Goebel et al. (123)	II, prospektiv	2006	OSG+USG-A = 29 NA	OSG+USG-A = 90	3 im OSG 7 im USG	Spongiosaplastik in allen Fällen erfolgt
Gong et al. (124)	III, retrospektiv	2016	OSG+USG-A = 23 SA	OSG+USG-A = 100	OSG+USG-A = 0	
Hammet et al. (126)	III, retrospektiv	2005	OSG+USG-A = 52 NA	OSG+USG-A = 88,5	3,8 im OSG 7,7 im USG	T2 Stryker 89% Zufrieden
Klos et al. (128)	III, retrospektiv	2009	OSG+USG-A = 28 NA	OSG+USG-A = 96	4 im OSG	4 Patienten mit Z.n. Talektomie: Vollständig durchbaute Tibiokalkaneare Arthroese in 100%
Lee et al. (130)	IV, retrospektiv	2018	OSG+USG-A = 20 NA	OSG+USG-A = 100	OSG+USG-A = 0	



	Evidenzlevel	Jahr	Operationsverfahren	Konsolidierungsrate in %	Nonunion in %	Notizen
Mückley et al. (132)	IV, Fallserie	2011	OSG+USG-A = 55	OSG+USG-A = 96	OSG+USG-A = 4	93% waren zufrieden
Niinimäki et al. (133)	III, retrospektiv	2007	OSG+USG-A = 34 NA	85 im OSG 88 im USG	15 im OSG 12 im USG	Höhere Fusionsraten im USG nach 16 Wochen
Pelton et al. (134)	-	2006	OSG+USG-A = 33 NA	OSG+USG-A = 88	OSG+USG-A = 12	Chacot-Arthropathie bei 2 der nicht konsolidierten Arthrodesenpatienten
Rammelt et al. (135)	IV, retrospektive Fallserie	2013	OSG+USG-A = 38 NA	OSG+USG-A = 84	OSG+USG-A = 16	
Richter et al. (136)	-	2015	OSG+USG-A = 60	60 im OSG 60 im USG	0 im OSG 0 im USG	100% Konsolidierungsrate nach 2 Jahren im oberen und unteren Sprunggelenk
Tan et al. (137)	-	2013	OSG+USG-A = 13 NA, 6 SA	OSG+USG-A = 94,7	OSG+USG-A = 5,4	
Thomas et al. (139)	IV, Fallserie	2015	OSG+USG-A = 59 NA	OSG+USG-A = 93	OSG+USG-A = 7	In 11 Fällen erfolgte eine Anlagerung von Spongiosa, 9 davon erzielten eine vollständige Konsolidierung
Anderson et al. (118)	III, retrospektiv	2005	OSG+USG-A = 25 NA	OSG+USG-A = 96	OSG+USG-A = 4	
Jehan et al. (127)	-	2011	OSG+USG-A = 641 NA	OSG+USG-A = 86,7	OSG+USG-A = 13,3	
Gross et al. (125)	-	2013	OSG+USG-A = 30 NA	86 im OSG 74 im USG	14 im OSG 26 im USG	
Krissen et al. (129)	II, prospektiv	2010	OSG+USG-A = 31 NA	OSG+USG-A = 93	OSG+USG-A = 7	
Mendicino et al. (131)	III, retrospektiv	2004	OSG+USG-A = 20 NA	OSG+USG-A = 95	OSG+USG-A = 5	
Tavakkolizadeh et al. (138)	-	2006	OSG+USG-A = 21 NA	OSG+USG-A = 65	OSG+USG-A = 35	6 Patienten waren radiologisch nicht konsolidiert, jedoch klinisch asymptomatisch 5 der nicht konsolidierten Arthrodesen wiesen Zeichen einer neuropathischen Erkrankung auf
Diese Studie	III, retrospektiv	2019	AA = 11 SA, 23 FE OSG+USG-AA = 16 NA, 1 FE	AA = 97,1 OSG+USG-A = 58,8 im OSG+USG; 94 im OSG; 58,8 im USG	AA = 2,9 OSG+USG-A = 5,9 im OSG; 41,2 im USG	Kein CT Charcot-Arthropathie nicht ausgeschlossen

AA = OSG-Arthrodesen; SA/PA = Schraubenarthrodesen/Plattenarthrodesen des OSG; OSG+USG-A = OSG+USG-Arthrodesen; FE = Fixateur externe; AAA = Arthroskopisch assistierte OSG-Arthrodesen; NA = Nagelarthrodesen;

## 8.6 Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift

Die Arbeit wurde in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen unter der Betreuung von Herrn Prof. Dr. med. A. Ateschrang durchgeführt.

Die Kontaktaufnahme, Einbestellung und Nachuntersuchung aller Patienten wurden von mir selbstständig durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte mit Unterstützung von Frau Dipl.-Stat. A Naumann aus dem Institut für klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie Tübingen.

Ich versichere, das Manuskript selbstständig, nach Anleitung von Herrn Prof. Dr. med. A. Ateschrang verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.