

# Funktionelle Langzeitanalyse komplexer Weichteilrekonstruktionen des Vorfußes

Florian Gabriel Gedrich

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität  
München zur Erlangung eines  
Doktors der Medizin (Dr. med.)  
genehmigten Dissertation.

Vorsitz: Prof. Dr. Susanne Kossatz

Prüfer\*innen der Dissertation:

1. apl. Prof. Dr. Niclas Broer
2. Prof. Dr. Hans-Günther Machens

Die Dissertation wurde am 27.12.2022 bei der Technischen Universität München eingereicht  
und durch die Fakultät für Medizin am 13.06.2023 angenommen.

Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden am 14.11.2022 vorab online im Journal of Reconstructive Microsurgery veröffentlicht (Mayr-Riedler et al., 2022).

Zur verbesserten Lesbarkeit und Verständlichkeit des Textes wird in der folgenden Arbeit stets die maskuline Form verwendet. Diese steht stellvertretend für alle Geschlechter und soll keine Diskriminierung darstellen.

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	III
Tabellenverzeichnis .....	V
Abkürzungsverzeichnis .....	VI
1 Einleitung .....	1
1.1 Plastische rekonstruktive Chirurgie .....	1
1.2 Besonderheiten der (Vor-) Fußregion .....	2
1.3 Ursachen für Fußdefekte .....	7
1.4 Therapiemöglichkeiten .....	8
1.4.1 Wahl der richtigen Therapie .....	8
1.4.2 Freie Hauttransplantate .....	9
1.4.3 Lokale/ regionale Lappenplastiken .....	11
1.4.4 Freie Lappenplastiken .....	14
2 Zielsetzung .....	18
3 Methodik und Patientenkollektiv .....	19
3.1 Patientenkollektiv .....	19
3.2 Datenerhebung .....	20
3.3 Messdurchführung .....	21
3.4 Statistische Auswertung .....	22
3.5 Modellierung des Algorithmus .....	23
4 Ergebnisse .....	25
4.1 Patientencharakteristik .....	25
4.2 Defektcharakteristik .....	27
4.2.1 Ätiologie .....	27
4.2.2 Defektgröße .....	28
4.2.3 Defektlokalisierung .....	31
4.3 Rekonstruktionsmethoden .....	31
4.3.1 Hauttransplantate und lokale/regionale Lappenplastiken .....	31
4.3.2 Freie Lappenplastiken .....	32
4.4 OP-Dauer und Krankenhaustage .....	35
4.5 Komplikationen .....	37
4.5.1 Leichte Komplikationen .....	37
4.5.2 Schwere Komplikationen .....	39
4.5.3 Totale Lappenverluste .....	41

4.5.4	Re-Operationen.....	42
4.6	Funktionalität .....	44
4.6.1	ROM-Defizit.....	44
4.6.2	Zehenspitzen-/ Fersengang .....	44
4.6.3	Sensibilität .....	45
4.6.4	Schuhwerk .....	46
4.7	Ästhetik (Narbenbildung) .....	47
4.8	Zufriedenheit und Lebensqualität .....	47
4.8.1	Zufriedenheit .....	47
4.8.2	Lebensqualität (SF-36) .....	48
4.8.3	Schmerzen .....	49
4.9	Algorithmus zur Versorgung komplexer Weichteildefekte am Vorfuß .....	51
5	Diskussion .....	54
5.1	Zusammenfassung der Hauptergebnisse.....	54
5.2	Diskussion der Methoden .....	55
5.2.1	Studienkollektiv .....	55
5.2.2	Datenerhebung.....	56
5.2.3	Messdurchführung.....	57
5.2.4	Statistische Auswertung .....	57
5.2.5	Modellierung des Algorithmus.....	58
5.3	Diskussion der Ergebnisse .....	59
5.3.1	Freie Hauttransplantate.....	59
5.3.2	Lokale/regionale Lappenplastiken.....	60
5.3.3	Freie Lappenplastiken.....	62
5.3.3.1	Allgemeiner Überblick .....	62
5.3.3.2	Muskellappen .....	66
5.3.3.3	Fasziokutanlappen.....	69
5.3.3.4	Limitationen freier Lappenplastiken .....	71
5.4	Ausblick .....	73
6	Zusammenfassung.....	74
7	Literaturverzeichnis.....	76
	Anhang.....	88
	Danksagung .....	99

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die rekonstruktive Leiter.....	2
Abbildung 2: Anatomische und klinische Gliederung des Fußes.....	4
Abbildung 3: Darstellung der Druckverteilung mittels Pedobarografie.....	4
Abbildung 4: Biomechanische Einteilung des Fußes .....	5
Abbildung 5: Topografische Darstellung des Fußrückens und der Fußsohle .....	6
Abbildung 6: Defektdeckung am Vorfuß durch Vollhauttransplantat aus der Leiste ....	10
Abbildung 7: Verschiebelappenplastik: U-Plastik, VY-Plastik .....	12
Abbildung 8: Schwenklappenplastik .....	12
Abbildung 9: Axial gestielter Plantaris-medialis-Lappen .....	13
Abbildung 10: Axial gestielter Dorsalis-pedis-Lappen .....	14
Abbildung 11: Die häufigsten freien Lappen .....	16
Abbildung 12: Zusammensetzung des Patientenkollektivs .....	19
Abbildung 13: Altersverteilung des Studienkollektivs.....	26
Abbildung 14: Ätiologie für Weichteildefekte am Vorfuß .....	28
Abbildung 15: Defektflächenverteilung .....	28
Abbildung 16: Defektflächen unterschieden nach Rekonstruktionsmethode.....	29
Abbildung 17: Defektflächenverteilung lokoregionaler Lappen.....	30
Abbildung 18: Defektflächenverteilung freier Lappen .....	30
Abbildung 19: Defektlokalisierung .....	31
Abbildung 20: Beispiel Vollhauttransplantation nach ALT-Lappenverlust .....	32
Abbildung 21: Beispiel lokale Lappenplastik .....	32
Abbildung 22: Pedikellängenverteilung freier Lappen .....	33
Abbildung 23: Beispiel fasziokutane ALT-Lappenplastik .....	34
Abbildung 24: Beispiel freier M.-Gracilis-Lappenplastik.....	35
Abbildung 25: OP-Dauer.....	36
Abbildung 26: Krankenhausaufenthaltsdauer .....	36
Abbildung 27: Korrelation von Krankenhausaufenthaltsdauer und Alter .....	37
Abbildung 28: Rate an leichten Komplikationen .....	38
Abbildung 29: Komplikationsarten bei leichten Komplikationen.....	38
Abbildung 30: Rate an schweren Komplikationen.....	40
Abbildung 31: Komplikationsarten bei schweren Komplikationen .....	40
Abbildung 32: Rate an totalen Lappenverlusten .....	42
Abbildung 33: Rate an sekundären Vorfußamputationen .....	42

Abbildung 34: Rate an komplikationsbedingten Re-Operationen.....	43
Abbildung 35: ROM-Defizit .....	44
Abbildung 36: Durchführung des Zehenspitzen-/ Fersengangs .....	45
Abbildung 37: Oberflächen-/Tiefensensibilitätsdefizit .....	46
Abbildung 38: Besonderheiten beim Tragen von Schuhwerk.....	46
Abbildung 39: Narbenbildung nach Vancouver Scar Scale .....	47
Abbildung 40: Zufriedenheit mit Rekonstruktionsergebnis .....	48
Abbildung 41: SF-36 Fragebogen zur Lebensqualität.....	49
Abbildung 42: Anteil im Alltag eingeschränkter Patienten.....	49
Abbildung 43: Schmerzen an der Entnahme- bzw. Empfängerstelle .....	50
Abbildung 44: Schmerzen freier Lappen.....	50
Abbildung 45: Schmerzen freier Lappen.....	51
Abbildung 46: Entscheidungsbaum zur Versorgung komplexer Weichteildefekten am Vorfuß.....	53

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Operationen- und Prozedurenschlüssel für Weichteildeckungen am Fuß.....	19
Tabelle 2: Patientencharakteristika.....	25
Tabelle 3: Zusammensetzung sekundärer/zusätzlicher Rekonstruktionen .....	26
Tabelle 4: Verstorbene Patienten mit freier Lappenplastik .....	27
Tabelle 5: Freie Lappencharakteristika .....	33
Tabelle 6: Perioperative Lappencharakteristika (freie Lappen) .....	34
Tabelle 7: Logistische Regression für leichte Komplikationen.....	39
Tabelle 8: Logistische Regression für schwere Komplikationen .....	41
Tabelle 9: Re-Operationen, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode.....	43

## Abkürzungsverzeichnis

A.	Arterie
art.	arteriell
Abb.	Abbildung
ALT	anterolateral thigh
ASA	American Society of Anesthesiologists
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
DFS	Diabetisches Fußsyndrom
d	Tage (lat. dies)
engl.	englisch
ggü.	gegenüber
ICG	Indocyaningrün
IQA	Interquartilsabstand
KHK	koronare Herzerkrankung
KI	Konfidenzintervall
M.	Musculus
Max.	Maximum
min	Minute(n)
Min.	Minimum
n. a.	nicht angegeben
NRS	Numerische Rating-Skala
OP	Operation
OPS	Operationen- und Prozedurenschlüssel
OR	Odds Ratio
pAVK	periphere arterielle Verschlusskrankheit
POWHS	postoperative Wundheilungsstörung
Ref.	Referenz
RF	Risikofaktor
ROM	Range of Motion
s.	siehe
S.	Seite
SD	standard deviation (= Standardabweichung)
SHT	Spalthaut

s. u.	siehe unten
Tab.	Tabelle
u. a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
V.	Vene
ven.	venös
Vv.	Venen
VSS	Vancouver Scar Scale
z. B.	zum Beispiel
Z. n.	Zustand nach

# 1 Einleitung

## 1.1 Plastische rekonstruktive Chirurgie

Die Plastische Chirurgie baut auf vier Teilgebieten auf, welche auch als „die vier Säulen der Plastischen Chirurgie“ bezeichnet werden und gemeinsam das Ziel verfolgen, Form und Funktion des menschlichen Körpers (wieder-) herzustellen. Neben der medialen Bekanntheit der *Ästhetischen Chirurgie* umfasst die plastische Chirurgie auch die Teilgebiete *Verbrennungschirurgie*, *Handchirurgie* sowie *Rekonstruktive Chirurgie*. (Berger, 2009)

Die Rekonstruktive Chirurgie hat ihren Ursprung bereits vor über 3300 Jahren in der Antike. Mumienfunde zeigen die plastische Rekonstruktion von Ohrmuscheldefekten (Verdan, 1980). Ursächlich hierfür waren sowohl Kriegsverletzungen als auch die Bestrafung von Kriminellen durch Abschneiden von Nasen, Ohren oder Extremitäten. Somit wurden die ersten routinemäßigen Rhinoplastiken zwischen 1200 und 700 vor Christus in Indien praktiziert, um Verbrecher wieder gesellschaftstauglich zu machen. Dabei nutzte man einen „Gefäßlappen“ aus der Stirn, um eine Nase zu formen. (Berger & Hierner, 2003)

Dass es in der rekonstruktiven Chirurgie um viel mehr als nur einen Wundverschluss geht, zeigt das Zitat des ehemaligen Handchirurgen Claude Verdan 1980. Die wahre Herausforderung liegt demnach in der *funktionellen* Rekonstruktion einer Körperregion. (Rudolph & Studtmann, 1997)

*"Ziel ist, fehlendes Gewebe zu rekonstruieren oder zu ersetzen und einer zerstörten Region wieder ihre ursprüngliche anatomische Form zu verleihen. Der Plastische Chirurg ist somit genötigt, seine Fähigkeiten auf zahlreichen Gebieten und nicht nur auf die Abdeckung mit Integument auszuweiten [...] Dies verlangt bei bestimmten Körperstellen ein wahres künstlerisches Integument."* (Verdan, 1980)

Bei der Wahl der passenden rekonstruktiven Behandlungsmethode ist es wichtig, strukturiert vorzugehen. Daher wurde 1982 erstmals das Prinzip der *rekonstruktiven Leiter* in einem Buch von Mathes und Nahai beschrieben (Stephen J. Mathes & Foad Nahai, 1982). Seither dient es als Grundlage für viele plastische Operationen. Dabei werden die möglichen OP-Techniken

nach ihrer Komplexität geordnet, wobei am Anfang der Leiter die einfachste Maßnahme steht (vgl. Abbildung 1).

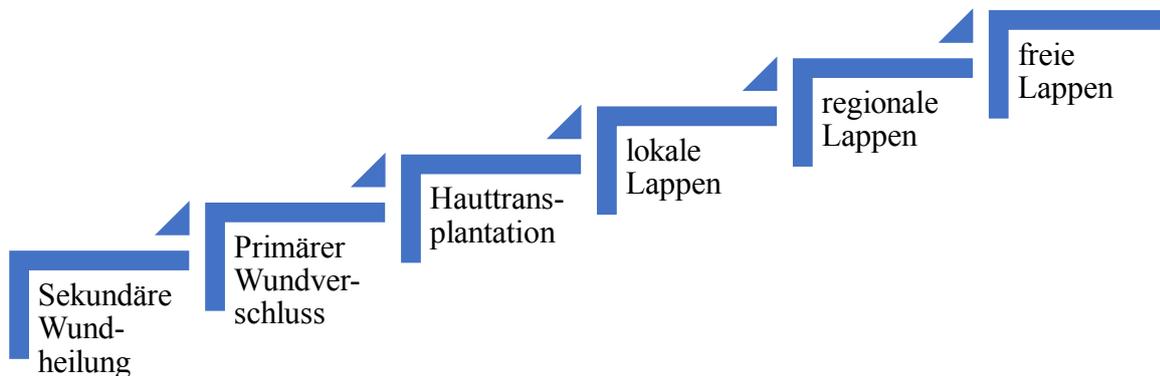


Abbildung 1: Die rekonstruktive Leiter (nach Mathes und Nahai)

Generell sollte immer die einfachste Technik gewählt werden, mit der ein Wundverschluss erzielt werden kann (Clark & Sherman, 1993; Simman, 2009). Allerdings spielt auch die Operabilität, das Vorliegen von Vorerkrankungen bzw. Voroperationen sowie das Alter und der Allgemeinzustand des Patienten eine wichtige Rolle (Vogt, 2011, S. 93).

Das Modell von Mathes und Nahai blieb jedoch nicht ganz kritiklos. Dies liegt daran, dass deren oberstes Ziel einzig und allein der *Defektverschluss* war. Im Gegensatz dazu gilt in der modernen Plastischen Chirurgie das primäre Ziel der funktionellen und ästhetische „*Defektrekonstruktion*“. Ein weiterer Kritikpunkt an dem Leiter-Modell ist die Vorstellung, erst alle Stufen zu durchlaufen, um zu einem komplexeren Verfahren zu gelangen. Daher haben Gottlieb und Krieger den Begriff des „rekonstruktiven Fahrstuhls“ vorgeschlagen (Gottlieb & Krieger, 1994). Dieses Modell ermöglicht es, direkt zum gewünschten rekonstruktiven Verfahren zu gelangen, ohne alle vorherigen Stufen zu durchlaufen. Ein weiteres Manko an dem Modell von Mathes und Nahai ist, dass keine Kombination verschiedener Techniken vorgesehen ist, dies allerdings heutzutage erfolgreich Anwendung findet. (Knobloch & Vogt, 2010)

## 1.2 Besonderheiten der (Vor-) Fußregion

Um die alltäglichen Tätigkeiten wie Stehen, Gehen und Laufen zu ermöglichen, muss die Anatomie und Mechanik des Fußes perfekt aufeinander abgestimmt sein. Dies trifft vor allem

für Situationen mit starker mechanischer Beanspruchung wie etwa sportliche Aktivitäten oder das Tragen modischer Schuhwerke zu. (Clark & Sherman, 1993; Fernández et al., 2018)

Laut der Universität von Stanford läuft der durchschnittliche Deutsche etwa 5300 Schritte pro Tag. Dies ergibt bei einem 80-Jährigen mit einer Schrittlänge von etwa 0,8 m im Laufe des Lebens eine Distanz von etwa 12 Millionen Kilometern, was in etwa der dreifachen Umrundung der Erde entspricht. (Althoff et al., 2017)

Die hohe biomechanische Bedeutung des Vorfußes für ein physiologisches Gangbildes konnte eine Untersuchung bei Patienten mit unilateraler Vorfußamputation zeigen. Hierbei kam es auf der amputierten Seite zu einer verkürzten Standphase sowie einem verminderten Schub nach vorne, welches sich im Alltag durch eine Gang- und Standunsicherheit zeigte. Je mehr von der Fußlänge erhalten werden konnte, desto weniger pathologisch fielen die Befunde aus. (Hirsch et al., 1996; Kaib et al., 2019) Darüber hinaus führt das gleichmäßige Abrollen über den Vorfuß zu einer Stoßdämpfung beim Gehen und zu einer Reduktion der Druckbelastung am distalen Ende des Fußes (Baumgartner, 2011; Bernhard Greitemann et al., 2016).

Der dünne Weichteilmantel der Fußregion ist prädestiniert für Verletzungen und erworbene Deformitäten (Hollenbeck et al., 2010). Um dieser Belastung dennoch standzuhalten, verfügt der Fuß über eine einzigartige Beschaffenheit des umgebenden Weichteilmantels, welche nur schwer zu rekonstruieren ist. (Berger, 2009; Scaglioni et al., 2018)

Die an der *Fußsohle* befindliche Leistenhaut weist ein besonders dickes Stratum corneum auf, welches man so an keiner anderen Stelle des Körpers finden kann. Für eine besonders enge Vernetzung der Epidermis mit der darunter liegenden Dermis, findet man an der Fußsohle ein stark ausgeprägtes Papillarmuster. (Berger, 2009) Zur optimalen Polsterung befindet sich unter der Haut ein strapazierfähiges Gewebe, bestehend aus Fettgewebe, kollagenen und elastischen Fasern (S. J. Oh et al., 2011). Knochen, Bänder, Sehnen, Nerven und Gefäße werden zudem durch die robuste Plantaraponeurose geschützt (Haug et al., 2008).

Im Gegensatz dazu findet man am *Fußrücken* eine weiche Felderhaut mit nur einer sehr dünnen Subkutanschicht (Haug et al., 2008).

Für die Weichteilrekonstruktion stellt vor allem die *Übergangszone* zwischen Leisten- und Felderhaut am Fußrand eine Herausforderung dar, da hier besonders hohe Scherkräfte auftreten.

Eine Narbe in diesem Bereich kann zu Wundheilungsstörungen und einem längeren Heilungsverlauf führen. (Haug et al., 2008) Dort bildet sich im Laufe des Lebens ein hyperkeratotischer Randsaum, welcher vor allem bei älteren Menschen zu finden ist (Berger, 2009).

Die anatomische Gliederung der Fußknochen entspricht nicht der klinischen (vgl. Abbildung 2): Im klinischen Sprachgebrauch reicht der *Vorfuß* von den Zehen bis einschließlich den Ossa metatarsi und endet an der Lisfranc'schen Gelenklinie. Der *Mittelfuß* umfasst alle Fußwurzelknochen ausgenommen Talus und Calcaneus. Diese zählen zum *Rückfuß*. (Wurzinger, 2014)

Darüber hinaus existiert eine funktionelle Unterteilung des Fußes in Sprunggelenk, Ferse, Fußrücken, Fußsohle und Zehen (Berger, 2009).

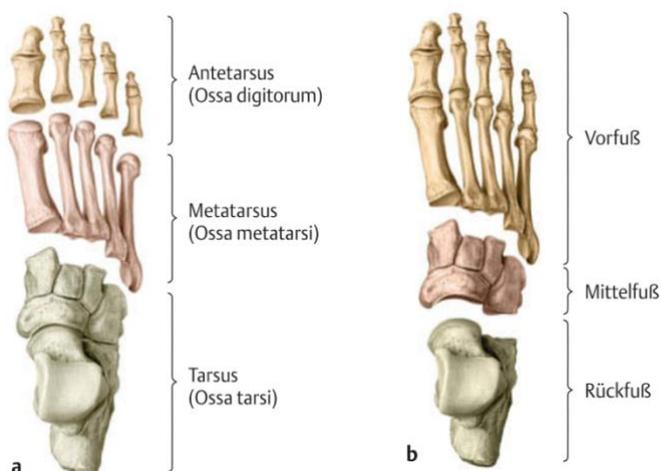


Abbildung 2: Anatomische (a) und klinische (b) Gliederung des Fußes (Wurzinger, 2014)

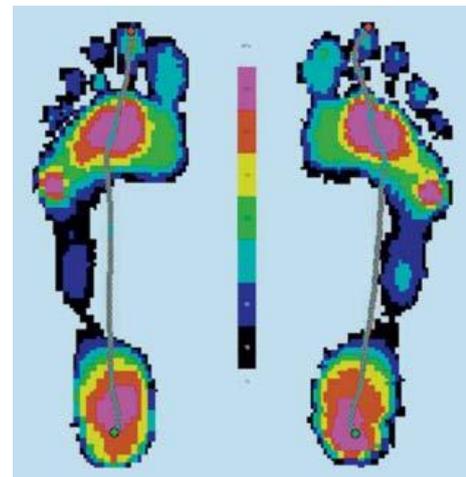


Abbildung 3: Darstellung der Druckverteilung mittels Pedobarografie (Haug et al., 2008)

Aus biomechanischer Sicht ist eine weitere Aufteilung in verschiedene Zonen auf Grund der unterschiedlichen Druckbelastung sinnvoll und sollte bei der Rekonstruktion berücksichtigt werden. Abbildung 3 zeigt hierzu die Verteilung der Druckbelastung in der Fußzohne mittels Pedobarografie von leicht (schwarz) bis stark (violett). Allgemein wird zwischen *direkten Druckzonen* wie der Ferse (P1), dem lateralen Fußrand (P2) sowie der Metatarsale 1-Region (MT 1) und *indirekten Druckzonen* wie dem Fußrücken (D), der Knöchel- (M) sowie der seitlichen Fersenregion (C) unterschieden (vgl. Abbildung 4). Die plantare Vorfußregion steht neben der Ferse unter der höchsten Druckbelastung (vgl. Abbildung 3). Demgegenüber steht die druckfreie Region unterhalb des Längsgewölbes (Instep-Areal) (Haug et al., 2008).

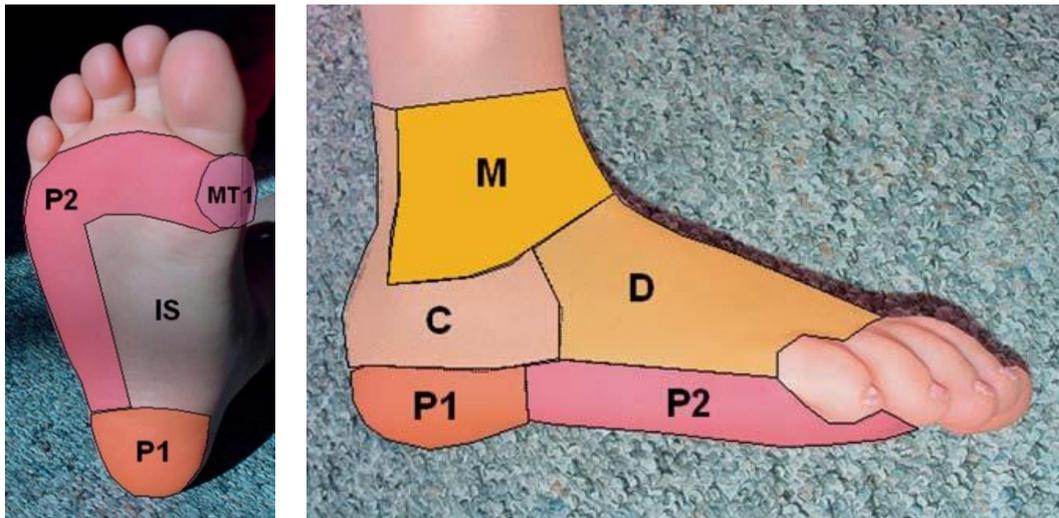


Abbildung 4: Biomechanische Einteilung des Fußes in direkte (links) und indirekte Druckzonen (rechts) (Haug et al., 2008)

Für die plastische Rekonstruktion ist eine gute Kenntnis über den Gefäßverlauf essenziell, wobei individuelle Unterschiede im Verlauf und Kaliber bestehen (Buchanan et al., 2016). Die *Gefäßversorgung* am Fuß erfolgt über die Endäste dreier Arterien (vgl. Abbildung 5): Während der Fußrücken primär durch die A. dorsalis pedis aus der A. tibialis anterior versorgt wird, wird die Fußsohle durch die Aa. plantares medialis et lateralis aus der A. tibialis posterior versorgt. Über die A. peronea werden der laterale Malleolus und Teile des lateralen Calcaneus versorgt. (Wurzinger, 2014)

Zwischen der Plantar- und Dorsalseite bestehen arterielle Anastomosen, welche für Rekonstruktionen mit Lappenplastiken eine Rolle spielen (Ishikawa et al., 1987). Diese sind jedoch im Vergleich zur Hand weniger konstant und häufig funktionell insuffizient (Masquelet & Gilbert, 1998).

Störungen im Fett- und Glukosestoffwechsel führen häufig zu Mikro-/Makroangiopathien, welche sich meist zuerst im Endstromgebiete der unteren Extremität manifestieren (Forsythe et al., 2015). In einer prospektiven Studie mit über 600 Diabetikern mit einer peripheren arteriellen Verschlusskrankheit und einem gemessenen Perfusionsdefizit (systolischer Zehendruck <45 mmHg bzw. Knöcheldruck <80 mmHg) kam es im Verlauf bei 41% zu einer Teil-/Vollamputation der unteren Extremität (Elgzyri et al., 2013). Unter diesen Umständen ist eine Weichteilrekonstruktion deutlich erschwert oder sogar teilweise unmöglich. Ausgeprägte Perfusionsstörungen führen häufig zu anhaltenden Wundheilungsstörungen und einer verzögerten Abheilung. (Rab et al., 2008)

Analog zu den Gefäßen wird der Fuß durch verschiedene Nerven innerviert (vgl. Abbildung 5): Der Fußrücken und der dorsale Anteil der Zehen wird sensibel aus Endästen des N. peroneus superficialis und profundus sowie dem N. suralis versorgt. Die sensible Innervation der Fußsohle erfolgt über die Endäste des N. tibialis posterior (Nn. plantares medialis et lateralis). Ein kleiner Teil des Innenfußes wird zusätzlich durch Endäste des N. saphenus innerviert. (Berger, 2009)

Im Rahmen einer Polyneuropathie, z. B. auf Grund eines Diabetes Mellitus oder eines chronischen Alkoholabusus, ist die taktile und propriozeptive Innervation des Fußes reduziert. Dadurch werden Druckstellen oder Verletzungen nach Bagatelltraumata häufig erst zu spät erkannt. (Hanewinckel et al., 2016)

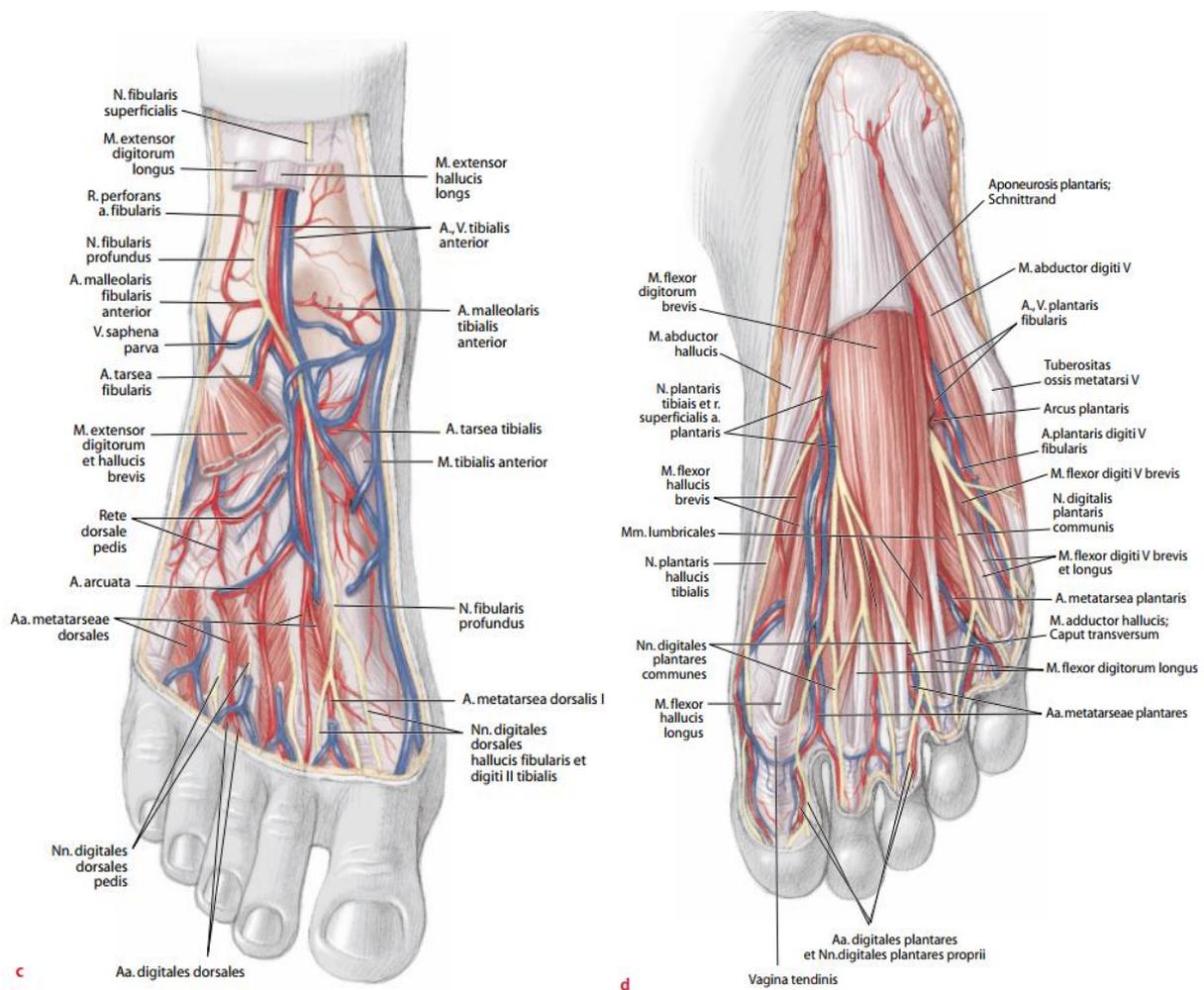


Abbildung 5: Topografische Darstellung des Fußrückens (links) und der Fußsohle (rechts) (Berger, 2009)

### 1.3 Ursachen für Fußdefekte

Nach Angaben des Statistischen Bundesamts wurden 2019 rund 38.000 Patienten auf Grund einer *Verletzung, Verbrennung oder Verätzung* in der Knöchelregion und des Fußes versorgt (GENESIS-Online, 2021). Häufig trat dies im Zusammenhang mit Polytraumata auf. Laut dem Traumaregister der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie kam es bei 40% der Schwerverletzten ( $ISS \geq 16$ ) zu einer Knochen-/Weichteilverletzung im Bereich des Fußes oder Sprunggelenks (TraumaRegister DGU®). Auf Grund der erhöhten Verkehrssicherheit und einer verbesserten intensivmedizinischen Versorgung sank zwar die Mortalität von Polytraumapatienten in den letzten zwei Jahrzehnten von 40% auf 18% (Regel et al., 1993). In der Folge traten aber begleitende Verletzungen vor allem in der Fußregion vermehrt in den Vordergrund. Dies führte dazu, dass es trotz des Rückgangs der Schwere und Häufigkeit von Polytraumapatienten zu einer Zunahme von Verletzungen der Fußregion in allen Schweregraden kam. (Loo et al., 1996; Weninger et al., 2005)

Hinzu kommen jährlich rund 250.000 Patienten mit einem *Diabetischem Fußsyndrom* (DFS) (Rümenapf et al., 2021). Dabei stellen Fußläsionen wie Ulzera, Nekrosen und Wundheilungsstörungen in Folge einer Polyneuropathie und Angiopathie weltweit eine der häufigsten Ursachen für eine notwendige Krankenhausbehandlung unter Diabetikern dar (Lobmann, 2020). Repetitiver Stress bei reduzierter Schmerzempfindung führt bei etwa 10-34% der Diabetiker im Laufe ihres Lebens zu einem diabetischen Ulkus (Morbach et al., 2018). Auf Grund der demographischen Entwicklung prognostizieren deutsche Epidemiologen bis 2040 eine relative Zunahme der Typ 2 -Diabetiker um 54-77% im Vergleich zu 2015 (Schmidt et al., 2020; Tönnies et al., 2019). Dies wiederum würde zu einer Zunahme mikrovaskulärer Folgeerkrankungen mit Weichteildefekten führen (Reitzle et al., 2020).

Eine weitere Ursache für Weichteildefekte sind chronische Wunden, Ulzerationen oder Gangrän bei *peripherer arterieller Verschlusskrankheit* (pAVK) (Campia et al., 2019). Die fortgeschrittene Manifestation der Arteriosklerose in den Gefäßen der unteren Extremität führt ab einem Knöchel-/Armindex  $< 0,4$  oder einem systolischen Zehendruck  $< 30$  mmHg zu kritischen Extremitätenischämien mit der Gefahr für Gewebeerluste oder Amputationen (Norgren et al., 2007). Risikofaktoren hierfür sind Rauchen (OR 2-4), Diabetes Mellitus (OR 2-4), arterielle Hypertension (OR 1,5-2,2) und Dyslipidämien. Gleichzeitig steigt die Inzidenz

mit dem Alter, sodass in den USA 20% der über 80-Jährigen an einer pAVK erkrankt sind (Criqui & Aboyans, 2015).

Des Weiteren sind Tumore, Infektionen oder chronische Wundheilungsstörungen, z. B. durch Narbeninstabilitäten, Ursachen für Weichteildefekte der Fußregion (Haug et al., 2008; Rainer et al., 1999).

## **1.4 Therapiemöglichkeiten**

### **1.4.1 Wahl der richtigen Therapie**

Ziel bei der Versorgung von Weichteildefekten der Vorfußregion ist es, eine Amputation des Vorfußes mittels adäquater Rekonstruktion des Weichteilmantels zu verhindern. Dadurch kann die Gang- und Standsicherheit sowie die Fuß- und Schrittlänge erhalten, die körperliche Integrität gewahrt und Scher- und Druckkräfte am distalen Stumpf reduziert werden. (Baumgartner, 2011; Bernhard Greitemann et al., 2016; Hirsch et al., 1996; Kaib et al., 2019)

Die Weichteilrekonstruktion der Vorfußregion muss ein hohes Maß an funktionellen Anforderungen erfüllen und gleichzeitig den extremen Druck und Schwerkraften Stand halten (Clark & Sherman, 1993; Haug et al., 2008; Hollenbeck et al., 2010; Soltanian et al., 2015).

Auf Grund des einzigartigen Weichteilmantels der Vorfußregion bei gleichzeitigem Mangel an verschieblicher Haut und lokalem Muskelgewebe, stellt die Rekonstruktion der Fußregion eine der größten Herausforderungen in der Plastischen Chirurgie dar (Haug et al., 2008; Pinsolle et al., 2006).

Um langfristig die Mobilität zu erhalten und Deformierungen und Behinderungen zu vermeiden, empfiehlt sich ein frühzeitiges interdisziplinäres Vorgehen innerhalb von 72 Stunden nach Aufnahme (Godina, 1986; Haug et al., 2008; Hollenbeck et al., 2010). Daher gilt es, rechtzeitig die Wunde zu debridieren, vitales Gewebe zu erhalten, Wundinfektionen zu vermeiden und schnellstmöglich eine adäquate Knochen- und Weichteilrekonstruktion durchzuführen (Clark & Sherman, 1993; Hollenbeck et al., 2010). Für viele Patienten entscheidet das Rekonstruktionsergebnis darüber, ob sie wieder uneingeschränkt in das Berufs- und Gesellschaftsleben zurückkehren können (Weninger et al., 2005).

Die Wahl des richtigen rekonstruktiven Verfahrens für (Vor-)Fußdefekte ist noch nicht abschließend geklärt, da hierzu widersprüchliche Aussagen von Autoren vorliegen oder entsprechende Untersuchungen noch fehlen (Abdelfattah et al., 2019; Harris et al., 1994; John Barry McCraw, 1979; Pinsolle et al., 2006; Scaglioni et al., 2018). Im Folgenden sollen die möglichen Therapieoptionen entsprechend der Rekonstruktiven Leiter erläutert werden (Heller & Levin, 2001):

Kleinere Wunden heilen oft schon nach gründlicher Reinigung und ggf. topischer antibakterieller Behandlung (=sekundäre Wundheilung) (Simman, 2009). Angewendet werden kann diese Methode vor allem in Arealen mit nur wenig mobiler Haut, vorausgesetzt das verbleibende Gewebe ist gut perfundiert. Unterstützt wird dieser Prozess durch regelmäßige Wundkontrollen und wechselnden Verbänden mit kochsalz- oder alkoholgetränkten Kompressen. (Vogt, 2011, S. 105)

Ist nicht von einem selbstständigen Verschluss der Wunde auszugehen, können kleine Defekte unmittelbar chirurgisch verschlossen werden (=primärer Wundverschluss). Dabei werden Wunden zunächst adäquat debridiert. Anschließend können die Wundränder parallel adaptiert und mittels Naht verschlossen werden. (Simman, 2009)

#### **1.4.2 Freie Hauttransplantate**

Freie Hauttransplantate kommen bei rein kutanen Defekten mit kaum oder nur wenig Regenerationspotential zum Einsatz (J. B. Brown & McDowell, 1942; Walters et al., 2020). Voraussetzungen für ein erfolgreiches Einheilen ist ein gut vaskularisiertes und infektionsfreies Empfängerbett ohne freiliegende Knochen, Knorpel und Sehnen (Schumpelick, 2010; Vogt, 2011). Besteht allerdings noch eine funktionelle Gleitschicht über den Sehnen, können auch hier Hauttransplantate verwendet werden (Vogt, 2011). Zu beachten ist außerdem, dass je näher das Spenderareal am Empfängerareal liegt, umso ähnlicher sind die Hautbeschaffenheiten und desto besser ist das ästhetische Ergebnis (Schumpelick, 2010).

Entsprechend der entnommenen Hautschichten unterscheidet man zwei Arten von Hauttransplantaten (J. B. Brown & McDowell, 1942). Das Vollhauttransplantat besteht aus der Epidermis und der gesamten Dermis, wohingegen im Spalthauttransplantat nur Epidermis und der obere Anteil der Dermis enthalten ist. Diese Unterteilung ist entscheidend für die Eigenschaft und Verwendung des Transplantats. (Vogt, 2011)

*Vollhauttransplantate* zeichnen sich durch gute Konsistenz- und Farbübereinstimmung mit dem angrenzenden Gewebe aus. Dadurch können in der Regel sehr gute ästhetische Ergebnisse erzielt werden (vgl. Abbildung 6) (Schumpelick, 2010). Darüber hinaus sind sie besonders widerstandsfähig und schrumpfen kaum, sodass sie für besonders beanspruchte Empfängerareale geeignet sind (Buchanan et al., 2016; Hallock & Morris, 2011). Der Nachteil ist jedoch, dass es auf Grund der größeren Diffusionsstrecke im Vergleich zur Spalthaut häufiger zu Problemen bei der Einheilung kommt (Vogt, 2011).



Abbildung 6: Defektdeckung am Vorfuß durch Vollhauttransplantat aus der Leiste (Schumpelick, 2010)

*Spalthauttransplantate* eignen sich vor allem für großflächige Defekte (Bordianu et al., 2018). Darüber hinaus können diese auf Grund der geringeren Diffusionsstrecke auch auf schlechter durchblutetem Wundgrund gut einheilen (J. B. Brown & McDowell, 1942). Somit werden diese Transplantate gerne bei der Behandlung von ausgedehnten Verbrennungen eingesetzt (Greenhalgh, 2019). Ein weiterer Vorteil ist, dass für diese Technik eine Vielzahl von Entnahmestellen wie zum Beispiel Hüfte, Ober-/Unterschenkel, Rücken, Bauch oder Glutäalbereich zur Verfügung stehen und nach Reepithelisierung eine wiederholte Entnahme möglich ist (Hallock & Morris, 2011). Der Nachteil von Spalthauttransplantaten ist jedoch, dass diese während des Heilungsprozesses zu Schrumpfen neigen und Narben hinterlassen, wodurch wiederum Spannungen entstehen können (Simman, 2009). Daher sind sie für die Anwendung im Bereich von Gelenken eher ungeeignet (Vogt, 2011). Zudem ist das ästhetische Ergebnis auf Grund der ungünstigen Farb- und Texturübereinstimmung schlechter als bei Vollhauttransplantaten (Johnson et al., 1992).

### 1.4.3 Lokale/ regionale Lappenplastiken

Der Begriff „Lappen“ bezeichnet in der plastischen Chirurgie einen vaskularisierten Gewebeanteil, welcher zur Rekonstruktion eines Gewebedefekts an einen anderen Ort verlagert wird (Buchanan et al., 2016). Wird bei dem Transfer die Gefäßverbindung nicht getrennt, so spricht man von *konventionellen* bzw. *klassischen Lappenplastiken*. Dies ist bei lokoregionalen Lappenplastiken der Fall. Wird das Transplantat jedoch kurzzeitig komplett vom Körper gelöst und anschließend wieder mikrochirurgisch an ein neues Gefäß angeschlossen, so spricht man von einer *freien Lappenplastik* (s. Kapitel 1.4.4) (Schumpelick, 2010). Darüber hinaus unterscheidet man zwischen *lokalen Lappenplastiken*, welche unmittelbar an den Defekt angrenzen, und *regionalen Lappenplastiken*, welche keinen direkten Kontakt zum Defekt haben. (Vogt, 2011)

Lokoregionale Lappenplastiken eignen sich generell auch bei schlecht vaskularisierten Wunden zur plastischen Deckung lebenswichtiger Strukturen sowie freiliegenden Knochenvorsprüngen (Hallock & Morris, 2011; Maciel-Miranda et al., 2013). Dies liegt daran, dass generell gut vaskularisiertes Gewebe aus der Umgebung zur Rekonstruktion herangezogen werden kann (Buchanan et al., 2016). In der Fußregion ist dies allerdings auf Grund des Mangels an angrenzendem Gewebe häufig nur bedingt möglich (Clark & Sherman, 1993; Russo et al., 2014). Außerdem ist eine uneingeschränkte Durchblutung der unteren Extremität Voraussetzung für eine erfolgreiche Einheilung der Lappenplastik (Rab et al., 2008).

Der Vorteile lokaler Lappenplastiken ist die hervorragende Übereinstimmung der Hautfarbe und Dicke des Lappens mit dem umgebenden Gewebe des Empfängerarals bei gleichzeitiger Erhaltung der Sensibilität (Buchanan et al., 2016; Russo et al., 2014). Das Prinzip „Like-for-like“ beim Weichteilersatz spielt auf Grund der komplexen und einzigartigen Gewebeszusammensetzung insbesondere bei der Fußrekonstruktion eine wichtige Rolle (Low et al., 2019; Scaglioni et al., 2018).

Grenzt nicht ausreichend vaskularisiertes Gewebe direkt dem Defekt an, können regionale (gestielte) Lappen (s. unten) aus näherer Entfernung gute klinische Ergebnisse erzielen (Bhat et al., 2009; Hamdi et al., 2004).

Lokale *Hautlappen* bieten eine einfache Möglichkeit, einen Defekt mit angrenzendem Gewebe zu decken. Bei der häufig verwendeten Verschiebelappenplastik (vgl. Abbildung 7) oder

Schwenklappenplastik (vgl. Abbildung 8) wird, unter Erhaltung einer Hautbrücke, ein Haut-Unterhaut-Lappen mobilisiert und anschließend mit Zug in den Bereich des Defekts gebracht (Rab et al., 2008; Schumpelick, 2010). Die Blutversorgung erfolgt hier meist zufällig (engl. random pattern flaps), da es keine definierte Hauptarterie gibt, sondern der Lappen durch diffuse subdermale Gefäßplexus versorgt wird (Maciel-Miranda et al., 2013).

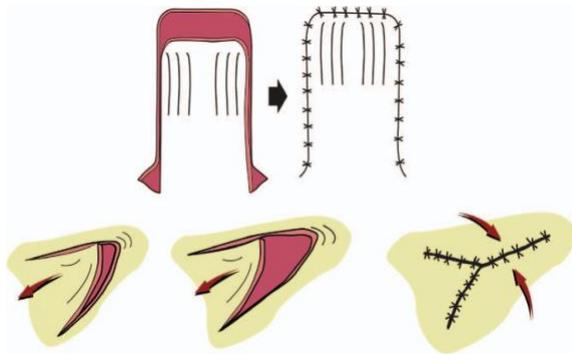


Abbildung 7: Verschiebelappenplastik: U-Plastik (oben), VY-Plastik (unten) (Buchanan et al., 2016)

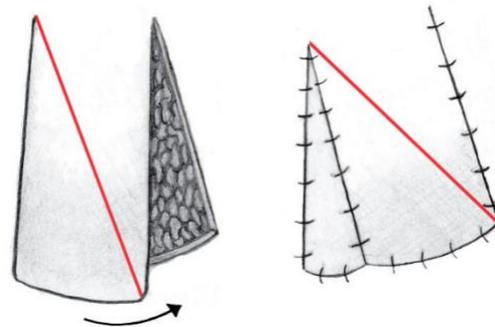


Abbildung 8: Schwenklappenplastik (Vogt 2011)

Im Gegensatz dazu werden axial gestielte Lappen (engl. axial pattern flaps) über eine definierte Hauptarterie versorgt. Das von diesem Gefäßstiel versorgte Gebiet wird als Angiosom bezeichnet (Geddes et al., 2003).

Ein häufig genutzter Fasziokutanlappen für die Rekonstruktionen der plantaren Vorfußregion ist der axial gestielte *Plantaris-medialis-Lappen* (engl. instep-flap) (Baker et al., 1990; Low et al., 2019). Abbildung 9 zeigt, wie eine Haut-/Faszieninsel aus der belastungsfreien medialen Fußsohle mobilisiert wird und der versorgende Ast der A. plantaris medialis sowie die Hautnervenäste des N. plantaris medialis bzw. N. peroneus superficialis frei präpariert werden (El-Sabbagh, 2018; Rab et al., 2008). Nachdem der Lappen an der Defektstelle eingenäht wurde, wird der Hebedefekt mit Spalthaut versorgt (Scaglioni et al., 2018). Das Ausmaß des Hebedefekts ist auf Grund der belastungsarmen Fuß-Zone vertretbar (S. J. Oh et al., 2011; Scaglioni et al., 2018). Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass der Gewebedefekt durch sensibel innerviertes und robustes Gewebe (Haut-Aponeurose-System) nach dem Prinzip „like replaces like“ ersetzt werden kann. Dies machte den Plantaris-medialis-Lappen für viele Autoren zur ersten Wahl bei kleinen bis mittleren Defekten der Fußsohle. (Baker et al., 1990; S. J. Oh et al., 2011)

Ist eine gestielte Transplantation nicht möglich, können auch mit einem freien Plantaris-medialis-Lappen sehr gute funktionelle und ästhetische Ergebnisse erzielt werden (Scheufler et al., 2007).

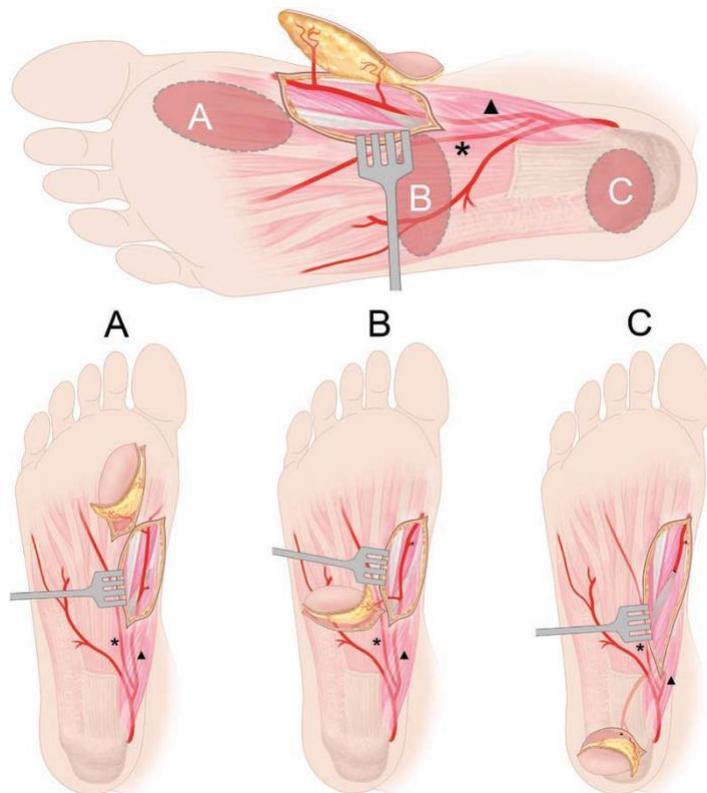


Abbildung 9: Axial gestielter Plantaris-medialis-Lappen zur Rekonstruktion des Vorfußes (A), Mittelfuß (B) und Ferse (C) (Scaglioni et al., 2018)

Zu Rekonstruktion des dorsalen oder seitlichen Vorfußes eignet sich der axial gestielte fasziokutane *Dorsalis-pedis-Lappen*, welcher erstmals von McCraw in den 70er Jahren beschrieben wurde (John Barry McCraw, 1979). Hierfür wird ebenfalls eine Haut-/Faszieninsel sowie ein Gefäßstil der A. dorsalis pedis freipräpariert und mobilisiert (vgl. Abbildung 10) (Krag & Riegels-Nielsen, 1982; Man & Acland, 1980). Da die anatomische Zusammensetzung der Spenderregion mit jener der Empfängerregion übereinstimmt, können mit dieser Methode gute ästhetische Ergebnisse erzielt werden (Russo et al., 2014). Zudem lässt sich der Dorsalis-pedis-Lappen dünn und geschmeidig in die Defektfläche einpassen, was bei Rekonstruktionen am Fußrücken für ein beschwerdefreies Tragen von Schuhwerk entscheidend ist (Krag & Riegels-Nielsen, 1982). Der entstandene Hebedefekt am Fußrücken ist allgemein tolerabel (Winaikosol et al., 2016). Bei Patienten mit körperlich schwerer Arbeit und hoher Fußbelastung sollte jedoch angesichts des Hebedefekts von dieser Technik abgesehen werden (Russo et al., 2014).



Abbildung 10: Axial gestielter Dorsalis-pedis-Lappen nach Exzision eines Malignen Melanoms. präoperativ (oben-links) – intraoperativ nach Exzision (oben-rechts, postoperativ (unten-links), nach 6 Monaten (unten-rechts) (Pallua et al., 2000)

*Gestielte Muskellappen* wie der Abductor-digiti-minimi-Lappen (Yoshimura et al., 1985) oder Extensor-digitorum-brevis-Lappen (John Barry McCraw, 1979) spielen heutzutage bei der Vorfußrekonstruktion eher eine untergeordnete Rolle, da sie häufig ausgeprägte Hebedefekte verursachen und auf Grund ihrer Dicke zu stark aufragen (Russo et al., 2014).

Ist auf Grund eines Traumas eine Amputation der Zehen unumgänglich und der Weichteilmantel intakt, kann dieser als sogenannter Filet-Lappen zur Rekonstruktion am Vorfuß verwendet werden. Der Transfer kann entweder axial gestielt oder frei erfolgen. (Küntschner et al., 2001)

#### 1.4.4 Freie Lappenplastiken

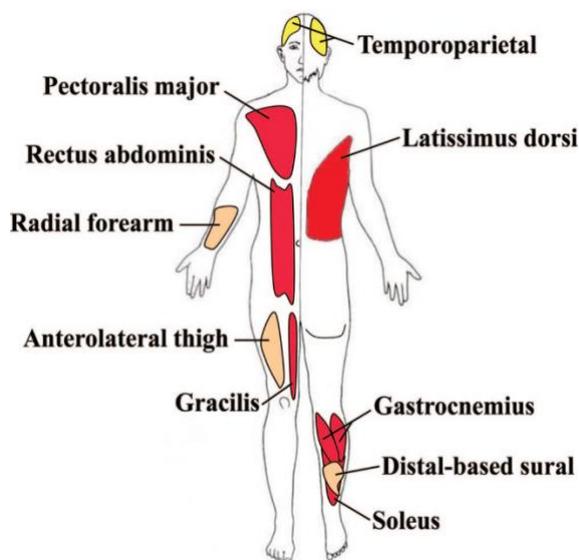
Freie Lappenplastiken kommen zum Einsatz, wenn eine Rekonstruktion mit lokoregionalen Lappenplastiken nicht möglich ist. Dies ist der Fall, wenn das angrenzende Gewebe ebenfalls durch die Verletzung stark geschädigt ist, das Ausmaß der Wunde sehr groß ist oder angrenzendes Gewebe nur schlecht vaskularisiert ist (Saint-Cyr et al., 2012; Simman, 2009). Auch bei Verletzungen mit frei liegenden wichtigen Strukturen wie Knochen, Sehnen, Nerven oder Gefäßen sollten freie Lappenplastiken in Erwägung gezogen werden (Buchanan et al., 2016; Knobloch & Vogt, 2010).

Laut Taylor & Daniel gibt es drei Voraussetzungen für den Erfolg freier Lappenplastiken: Erstens muss der Spenderlappen eine geeignete Gefäßversorgung aufweisen. Zweitens sollten geeignete Empfängergefäß vorliegen und dritten muss der Chirurg über ausreichende Erfahrung in der Mikrochirurgie verfügen (Taylor & Daniel, 1975).

Der Vorteil von freien Lappenplastiken ist, dass durch den Transfer gut durchblutetes Gewebe an die Empfängerstelle gelangt, ohne zusätzliche Schädigung des ohnehin schon kompromittierten angrenzenden Gewebes. Dadurch wird die Wundheilung gefördert und das Risiko für Infektionen minimiert (Gosain et al., 1990).

Bei Patienten mit Diabetes, Tabakkonsum, peripheren Gefäßerkrankungen oder immunsuppressiver Therapie ist allerdings Vorsicht geboten, da es hierbei häufig zu Zirkulations- und Wundheilungsstörungen kommen kann (Chang et al., 1996; Kroll et al., 1996; Reus et al., 1992; Saint-Cyr et al., 2012).

Freie Lappenplastiken bieten die Möglichkeit, auch komplexe Rekonstruktionen mit zusammengesetzten Geweben wie Knochen, Sehnen und Nerven durchzuführen, wobei dem Chirurgen eine Vielzahl an Entnahmestellen zur Verfügung stehen (Saint-Cyr et al., 2012). Entsprechend ihrer Zusammensetzung unterscheidet man u. a. zwischen kutanen, fasziokutanen, myokutanen oder osteo(-myo-)kutanen Lappen (Vogt, 2011). Da für die Rekonstruktion der unteren Extremität am häufigsten Fasziokutan- oder Muskellappen verwendet werden, soll auf diese im Folgenden genauer eingegangen werden (vgl. Abbildung 11).



*Abbildung 11: Die häufigsten freien Lappen: Faszio kutanlappen (beige), Muskellappen (rot) (Hallock & Morris, 2011)*

*Faszio kutanlappen* bestehend aus Haut, Unterhaut und Faszie zeichnen sich durch dünnes, gefügiges Gewebe aus, welches sich gut zur Rekonstruktion von oberflächlichen Defekten eignet. Dabei kann meist die ursprüngliche Kontur wiederhergestellt werden (Buchanan et al., 2016; Geddes et al., 2003). Durch die hervorragende Gleitschicht eignen sich fasziokutane Lappen gut im Bereich von Sehnen oder Gelenken (Saint-Cyr et al., 2012). Da es die darunterliegende Muskulatur verschont, kommt es kaum zu funktionellen Ausfällen an der Entnahmestelle. Darüber hinaus kann die Sensibilität im Lappen erhalten werden, wenn sensible Hautnerven beim Transfer intakt bleiben (Pontén, 1981). Untersuchungen haben jedoch in der Vergangenheit gezeigt, dass mit fasziokutanen Lappen keine signifikante Reduktion der kolonisierenden Bakterien im Wundbett erzielt werden konnte, sodass diese lange Zeit zur Versorgung infizierter Wunden vermieden wurden (Gosain et al., 1990). In neueren Studien ließ sich dies jedoch nicht mehr belegen (Kovar et al., 2020).

Die Blutversorgung erfolgt häufig durch sogenannte Perforatoren. Dies sind Seitenäste eines Hauptgefäßes, welches zunächst durch Muskeln oder tiefe Faszien durchstoßen, bevor sie in einen epifaszialen Gefäßplexus münden (Buchanan et al., 2016). Dementsprechend werden diese Lappen auch Perforatorlappen genannt (Biemer, 2002).

*Muskellappen* und muskulokutane Lappen enthalten die darunter liegende Muskulatur und zeichnen sich durch eine starke Vaskularisation und einer großen Masse an gesundem Gewebe aus (Buchanan et al., 2016). Daher eignen sie sich sehr gut zur Versorgung von infizierten, bestrahlten oder traumatischen Wunden mit freiliegenden Knochen (Pinsolle et al., 2006). Auch können damit im Rahmen von Rekonstruktionen Wundhöhlen mit vitalem Gewebe aufgefüllt werden (Saint-Cyr et al., 2012). Ein weiterer Vorteil ist die potentiell anitinfektive Wirkung im Empfängergebiet auf Grund der starken Durchblutung des Muskels (Gosain et al., 1990; Guzman-Stein et al., 1991; Loréa et al., 2001). Dies wird jedoch aktuell weiterhin diskutiert (Hong, 2006; Kovar et al., 2020). Zudem konnte in einigen Studien gezeigt werden, dass Muskellappen widerstandsfähiger gegenüber Schär- und Druckkräften waren (May et al., 1985; Menke et al., 2000; Rainer et al., 1999). Nachteile von Muskellappen sind jedoch, dass die Entnahme von Muskelgewebe zu funktionellen Defiziten an der Entnahmestelle führt. Gleichzeitig kommt es häufig zu unnatürlichen Ausbeulungen an der Empfängerstelle durch überschüssiges Gewebe, wodurch häufig nachträglich operative Lappenausdünnungen notwendig sind (Hallock, 2013; J. B. McCraw & Vasconez, 1980; Orticochea, 1972).

Nach sorgfältiger Vorbereitung und Planung inklusive einer Überprüfung des Gefäßstatus mittels Dopplersonographie oder Angiographie erfolgt die Operation idealerweise mit zwei Teams (Schumpelick, 2010). Das erste Team bereitet die Empfängerstelle vor, indem es die Wunde großzügig debridiert und die Anschlussgefäße darstellt (Vogt, 2011). Gleichzeitig wird durch das andere Team der freie Lappen einschließlich des Gefäßstils präpariert und entnommen (Saint-Cyr et al., 2012). Anschließend erfolgt der mikrochirurgische Anschluss des Lappens an die Empfängergefäße (Jacobson, 1971). Zeitgleich wird die Entnahmestelle durch das andere Team verschlossen.

## 2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Algorithmus für eine einheitliche evidenzbasierte Versorgung komplexer Weichteildefekte der Vorfußregion zu etablieren, um langfristig die Mobilität der Patienten zu erhalten und Behinderungen zu vermeiden. Hierbei sollte das bestmögliche funktionelle Langzeit-Outcome bei geringstmöglicher Komplikationsrate unter Berücksichtigung der Defektgröße und den Anschlussmöglichkeiten für Gefäße erzielt werden.

Durch die Kombination aus retrospektivischer Analyse und klinischen Nachuntersuchungen sollen Vor- und Nachteile der verschiedenen Rekonstruktionstechniken wie Hauttransplantate, lokoregionaler Lappenplastiken und freie Lappenplastiken ermittelt werden. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Unterschied zwischen freien fasziokutanen Lappen und Muskellappen, da dieser in der Literatur kontrovers diskutiert wird. Die zentralen Alternativhypothesen lauten:

1. Patienten mit lokoregionalen Lappenplastiken weisen eine niedrigere **Komplikationsrate** auf als Patienten mit freien Lappenplastiken. Grund hierfür könnte die technisch einfachere Operationstechnik sein.
2. Patienten mit freien Fasziokutanlappen verzeichnen geringere **Einschränkungen im Bewegungsumfang** als Patienten mit einem freien Muskellappen. Grund hierfür könnte eine bessere Elastizität des Gewebes sein.
3. Patienten mit freien Faziokutanlappen verzeichnen auf Grund der besseren **Narbenheilung** ein ästhetischeres Ergebnis als Patienten mit freien Muskellappen.
4. Patienten mit freien Muskellappen weisen eine niedrigere **Komplikationsrate** auf als Patienten mit freien Fasziokutanlappen. Grund hierfür könnte die technisch einfachere Operationstechnik sein.
5. Patienten mit freien Muskellappen weisen bei **infizierten Wunden** eine niedrigere Komplikationsrate auf als Patienten mit freien Fasziokutanlappen. Grund hierfür könnte die bessere Durchblutung sein.

### 3 Methodik und Patientenkollektiv

#### 3.1 Patientenkollektiv

Eingeschlossen wurden 119 Patienten, welche zwischen 2008 und 2019 eine plastische Rekonstruktion des Vorfußes durch die Klinik für Plastische Chirurgie, Handchirurgie und Verbrennungsmedizin der München Klinik Bogenhausen bzw. der Klinik und Poliklinik für Plastische Chirurgie und Handchirurgie des Klinikums Rechts der Isar erhalten haben. Die Auswahl erfolgte anhand entsprechender Operationen- und Prozedurenschlüssel (=OPS) (vgl. Tabelle 1). Ausgeschlossen wurden Patienten mit Amputationen proximal der Lisfranc'schen Gelenklinie. Der durchschnittliche Beobachtungszeitraum zwischen Operation und Datenerhebung betrug 88 Monate (14-152 Monate; SD 39,3).

Tabelle 1: Operationen- und Prozedurenschlüssel für Weichteildeckungen am Fuß

Hauttransplantat	Lokoregionale Lappenplastiken	Freie Lappenplastiken
5-902.0g/1g/4g/5g 5-925.0g	5-857.0a/1a/4a/6a/8a/9a 5-903.xg 5-905.1g	5-905.0g 5-925.4g

Von allen 119 eingeschlossenen Patienten sind 36 Patienten (30,3%) zu einem Langzeit-Follow-up erschienen (vgl. Abbildung 12). 45 Patienten (37,8%) konnten selbst nach mehrfachen Kontaktversuchen nicht erreicht werden. Weitere 17 Patienten (14,3%) haben eine Nachuntersuchung abgelehnt. 21 Patienten (17,6%) waren bereits verstorben. Der durchschnittliche Nachuntersuchungszeitraum zwischen Operation und Follow-up betrug 76 Monate (12-135 Monate; SD 37,6).

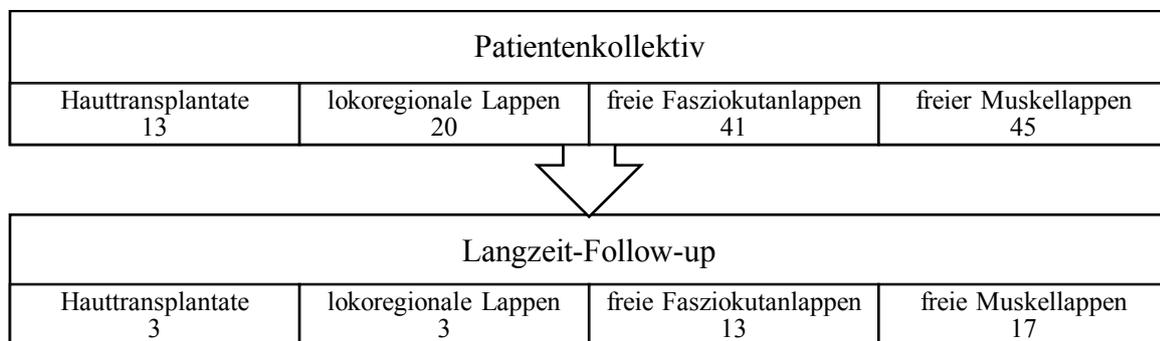


Abbildung 12: Zusammensetzung des Patientenkollektivs

## 3.2 Datenerhebung

Die Durchführung der Studie wurde zuvor durch die Ethikkommission der Technischen Universität München genehmigt (s. Anhang 1). Es erfolgte die Erstellung einer Patienteninformation sowie einer Einwilligungserklärung zur Studienteilnahme und Datenverarbeitung (s. Anhang 2) mittels der elektronischen Erstellungshilfe für Informations- und Einwilligungsdokumente eTIC (Ethikkommission der Technischen Universität München, 2020). Alle patientenbezogenen Daten wurden pseudonymisiert gespeichert.

Ein Teil der studienrelevanter Patientendaten (s. u.) wurden retrospektiv erhoben. Dazu wurden elektronisch gespeicherte Arztbriefe sowie weitere Dokumentationen aus der Patientenverwaltungssoftware SAP analysiert. Ergänzt wurden die Daten durch angeforderte Patientenakten aus dem Archiv mit zusätzlichen Anästhesie- und Stationsprotokollen. Für jeden freien Lappentransfer wurde das zugehörige Lappenprotokoll ausgewertet.

Folgende Daten wurden dabei erhoben: Geschlecht, Alter bei OP, Diagnose, Ätiologie, Komorbiditäten (Diabetes mellitus, arterielle Hypertonie, Hyperlipidämie, Arteriosklerose, pAVK, KHK, Nikotinabusus, Osteomyelitis, multiresistente Erreger), ASA-Status, Defektgröße/ -lokalisation, OP-Datum, Rekonstruktionsmethode mit Gewebezusammensetzung, OP-Dauer, Anzahl an Krankenhaustagen.

Bei freien Lappenplastiken wurden zusätzlich folgende Parameter erhoben: Lappengröße, Anschlussgefäß, Anzahl und Art der Anastomosen, Pedikellänge, Ischämiezeit sowie die Durchführung einer Indocyaningrün-Fluoreszenzangiographie.

Als weitere wichtige Information wurden postoperativ aufgetretene Komplikationen erfasst. Dabei wurde zwischen leichten Komplikationen auf Grund von Wunddehiszenz, Spalthautdefekt oder Lappenverlust < 10% und schweren Komplikationen mit thrombembolischem Gefäßverschluss, Hämatom oder Lappenverlust > 10% unterschieden. Schließlich wurde, falls zutreffend, die Anzahl der Revisionen mit der entsprechenden Rekonstruktionstechnik erfasst.

### 3.3 Messdurchführung

Ergänzt wurden die retropektivischen Patientendaten durch neue, selbstständig generierte Daten aus der Langzeitanalyse. Dafür wurden alle Patienten telefonisch kontaktiert und zu einem Nachuntersuchungstermin eingeladen. Nach schriftlicher Einwilligung zur Teilnahme an der Studie, musste jeder Patient zunächst den standardisierte und validierten Gesundheitsfragebogen 36-Item Short Form Survey (SF-36) zur Bewertung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität ausfüllen (s. Anhang 3). Dieser umfasst acht Bereiche: allgemeine Gesundheitswahrnehmung, körperliche oder soziale Funktionsfähigkeit, körperliche Schmerzen, körperliche oder emotionale Rollenfunktion, psychisches Wohlbefinden und Vitalität. Hierbei werden anhand einer Auswertungsmatrix jeweils zwischen 0 (totale Einschränkung) und 100 Punkte (keine Einschränkung) vergeben. (Ware & Sherbourne, 1992).

Anschließend erfolgte eine körperliche Untersuchung anhand eines selbst erstellten Untersuchungsbogens (s. Anhang 4). Dabei wurde zunächst das Bewegungsausmaß (=ROM) im oberen Sprunggelenk (Flexion/Extension) mittels eines Winkelmessers erfasst (Kehrer et al., 2020).

Zur Beurteilung der Kraft wurde neben dem Kraftgrad nach Janda (0-5) für Flexion und Extension im oberen Sprunggelenk auch der Fersen- bzw. Zehenspitzenangang durchgeführt. Letztere wurden per Video über eine kurze Gehstrecke dokumentiert (Vanhoutte et al., 2012).

Zur Objektivierung der Oberflächensensibilität erfolgte ein 10g Monofilament-Test (nach Semmes-Weinstein) an fünf Stellen im Bereich der Rekonstruktion (Bell-Krotoski et al., 1993). Ergänzt wurde die neurologische Untersuchung durch die Überprüfung der Tiefensensibilität mittels Stimmgabeltest (128 Hz) (J. J. Brown et al., 2017; Hitman, 2012).

Zur Beurteilung der Narbenbildung wurde die standardisierte und validierte Vancouver Scar Scale (VSS) eingesetzt. Dabei werden die Bereiche Durchblutung (0-3 Punkte), Pigmentierung (0-2 Punkte), Höhe (0-3 Punkte) und Flexibilität der Narbe (0-5 Punkte) bewertet. (Baryza & Baryza, 1995)

Schließlich erfolgte eine standardisierte Anamnese. Dabei wurden die Schmerzen an der Entnahme- und Empfängerstelle sowohl bei Belastung als auch in Ruhe anhand der Numerische

Rating-Skala (NRS) (Hawker et al., 2011) erfasst und nach der Einnahme von Schmerzmitteln gefragt. Des Weiteren wurden aktuelle Risikofaktoren (Diabetes, Hypertonie, Hyperlipidämie, Gefäßerkrankungen, Rauchen) ermittelt und das aktuelle Schuhwerk (normal, Einlagen, orthopädisch) dokumentiert. Zuletzt wurde nach aktuellen Problemen oder Beschwerden am Vorfuß gefragt und die Gesamtzufriedenheit mit dem Rekonstruktionsergebnis auf einer Skala von 1 (voll zufrieden) bis 6 (voll unzufrieden) registriert.

Abschließend wurden Fotos vom Fuß und gegebenenfalls der Entnahmestelle angefertigt.

### **3.4 Statistische Auswertung**

Die statistische Analyse erfolgte mittels SPSS Statistics 26 von IBM und wurde eigenständig durchgeführt (IBM Corp., 2019).

Zunächst erfolgte die deskriptive Statistik, sowohl für das gesamte Kollektiv als auch getrennt nach Rekonstruktionsmethode: Alle quantitativen (metrischen) Variablen wurden mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung geprüft. Anschließend wurden das arithmetische Mittel, der Median und die Quartile (25./75.) sowie Standardabweichung und Interquartilsabstand berechnet und tabellarisch aufgeführt. Zur vereinfachten Lesbarkeit wurde im Folgenden sowohl das arithmetische Mittel (Normalverteilung) als auch der Median (keine Normalverteilung) als „Durchschnitt“ bzw. „durchschnittlich“ bezeichnet. Lag eine Normalverteilung vor, so wurde die Standardabweichung als Streuungsmaß angegeben. War dies nicht der Fall, so wurde der Interquartilsabstand gewählt. Abschließend erfolgte die graphische Darstellung als Histogramm bzw. Boxplot (quantitativ-qualitativ) oder Punkt-/Streudiagramm (quantitativ-quantitativ). Für qualitativ (ordinal bzw. nominal) skalierte Variablen erfolgte die tabellarische Ausgabe der absoluten und relativen Häufigkeiten. Zur graphischen Darstellung der Daten wurden Balken- oder Kreisdiagramme gewählt.

In der Inferenzstatistik wurden die Hypothesen anhand geeigneter statistischer Tests untersucht. Hierbei wurde für qualitative unverbundene Parameter zum Vergleich von zwei oder mehr Gruppen der Chi-Quadrat-Test gewählt. Für kleine Stichproben wurde der Exakte Fischer-Test zusätzlich durchgeführt. Um quantitative nichtparametrische Variablen zweier Gruppen zu vergleichen, wurde der Mann-Whitney U-Test gewählt. Zum Vergleich von mehr als zwei

Gruppen wurde der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Es wurde stets zweiseitig auf dem Signifikanzniveau  $\alpha=0,05$  getestet.

Um Risikofaktoren zu ermitteln und ungleichmäßige Verteilung von Einflussfaktoren in den verschiedenen Vergleichsgruppen auszuschließen, wurde eine binär logistische Regressionsanalyse für das Risiko einer leichten oder schweren Komplikation bei freien Lappenplastiken durchgeführt. Zur Berechnung des Modells wurde die Methode „Vorwärtsauswahl (Likelihood-Quotient)“ gewählt, wobei schrittweise ein Test auf Aufnahme und Ausschluss einer Variablen anhand der Likelihood-Quotienten-Statistik erfolgte (=stepwise regression). Um bei der Stichprobengröße eine Über-/Unterspezifizierung des Modells zu vermeiden, wurde als Aufnahmekriterium der Variablen ein Wert von  $p<0,2$  gewählt. Dadurch konnte eine gute Erklärungsgüte mit einem Nagelkerke R-Quadrat von größer gleich 0,5 erzielt werden (Nagelkerke, 1991). Die möglichen Eingabevariablen umfassten Patientencharakteristika (Alter, Geschlecht, Risikofaktoren), Defektcharakteristika (Größe, Lokalisation, Ätiologie) sowie OP-/Lappencharakteristika (Lappenart, OP-Dauer, Ischämiezeit, Anzahl und Art der Anastomosen). Da vereinzelt Datensätze nicht vollständig waren, wurden nur 76 Fälle (82%) in die Analyse einbezogen.

Um die Stärke eines linearen Zusammenhangs zwischen zwei quantitativen Merkmalen zu beschreiben, wurde eine Korrelations-Analyse nach Pearson (parametrisch) oder Spearman (nichtparametrisch) durchgeführt.

### **3.5 Modellierung des Algorithmus**

Die Modellierung des Algorithmus für die Wahl der geeignetsten Rekonstruktionstechnik zur Versorgung von Weichteildefekten des Vorfußes erfolgte anhand mehrerer Faktoren: Zunächst wurden die postoperativen *Komplikationsraten* der verschiedenen Operationstechniken analysiert, da ein komplikationsarmer Verlauf die Grundlage einer langfristig erfolgreichen Rekonstruktion darstellt. Anschließend wurden *operative Determinanten* bei der Auswahl berücksichtigt. Hiermit sollte unter Berücksichtigung der Defektgröße sichergestellt werden, dass eine vollständige Rekonstruktion durch die gewählte Operationstechnik gewährleistet wird. Außerdem sollte die Entfernung zwischen dem Defekt und dem Anschluss der Empfängergefäße nicht die Pedikellänge des Lappens überschreiten. Letztlich sollte die

Rekonstruktionstechnik mit der bestmöglichen *Funktionalität* (ROM-Defizit, Gangbild, Sensibilität, normales Schuhwerk), *Ästhetik* (Narbenbildung) sowie *Patientenzufriedenheit* bevorzugt werden.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Patientencharakteristik

Insgesamt konnten 119 Patienten mit 133 Rekonstruktionen in die Arbeit eingeschlossen werden. Hierbei überwiegt der Anteil der Männer gegenüber den Frauen (vgl. Tabelle 2). Bei 6 Patienten erfolgte primär eine zweite Rekonstruktion zeitgleich an der anderen Extremität. In 8 Fällen war eine sekundäre Rekonstruktion nach einem Lappenverlust nötig (vgl. Tabelle 3).

Betrachtet man die Risikofaktoren (RF), so handelte es sich insgesamt um ein stark vorbelastetes Patientenkollektiv. Hierbei litten über die Hälfte der Patienten an arterieller Hypertonie (51,9%), Diabetes Mellitus (37,6%), peripherer arterieller Verschlusskrankheit pAVK (23,3%) oder koronarer Herzerkrankung KHK (17,3%). Zudem war etwa ein Viertel der Patienten Raucher. Dies spiegelte sich auch in der Risikoklassifikation der *American Society of Anesthesiologists* (ASA) wider. Etwa 44% der Patienten erhielten einen ASA-Status von drei oder höher, welches mindestens einer schweren systematischen Erkrankung entspricht. Besonders hoch war dieser Anteil mit ca. 72% in der Gruppe der Patienten mit Hauttransplantaten.

Tabelle 2: Patientencharakteristika

		gesamt	Fasziokutanlappen	Muskel-lappen	lokoregionale Lappen	Hauttransplantate
Geschlecht	weiblich	37 (27,8%)	10 (23,3%)	11 (22,0%)	6 (27,3%)	10 (55,6%)
	männlich	96 (72,2%)	33 (76,7%)	39 (78,0 %)	16 (72,7%)	8 (44,4%)
Alter (Jahre)		56 (IQA 30)	43 (IQA 39)	56 (IQA 24)	59 (IQA 28)	64 (IQA 29)
RF	Diabetes	50 (37,6%)	13 (30,2%)	22 (44,0%)	9 (40,9 %)	6 (33,3%)
	Hypertonie	69 (51,9%)	17 (39,5%)	28 (56,0%)	10 (45,5%)	14 (77,8%)
	Hyperlipidämie	30 (22,6%)	8 (18,6%)	13 (26,0%)	2 (9,1%)	7 (38,9%)
	pAVK	31 (23,3%)	5 (11,6%)	10 (20,0%)	6 (27,3%)	10 (55,6%)
	KHK	23 (17,3%)	7 (16,3%)	5 (10,0%)	7 (31,8%)	4 (22,2%)
	MRE	16 (12,0%)	6 (14,0%)	6 (12,0%)	1 (4,5%)	3 (16,7%)
	Nikotinabusus	33 (24,8%)	12 (27,9%)	10 (20,0%)	9 (40,9%)	2 (11,1%)
	Osteomyelitis	21 (15,8%)	5 (11,6%)	9 (18,0%)	6 (27,3%)	1 (5,6%)
ASA Status	1	22 (16,5%)	13 (30,2%)	6 (12,0%)	2 (9,1%)	1 (5,6%)
	2	53 (39,8%)	14 (32,6%)	25 (50,0%)	10 (45,5%)	4 (22,2%)
	3	55 (41,4%)	15 (34,9%)	19 (38,0%)	10 (45,5%)	11 (61,1%)
	4	3 (2,3%)	1 (2,30%)	0 (0,00%)	0 (0,0%)	2 (11,1%)

Tabelle 3: Zusammensetzung sekundärer/zusätzlicher Rekonstruktionen

	freier Faszio- kutanlappen	freier Muskel- lappen	lokregionale Lappen	Haut- trans- plantate	gesamt
primäre Rekonstruktion *	41	45	20	13	119
zwei primäre Rekonstruktionen **	0	1	2	3	6
sekundäre Rekonstruktion	2	4	0	2	8
nach partiellen Lappenverlust	(1)	(3)	(0)	(1)	(5)
nach vollständigem Lappenverlust	(1)	(1)	(0)	(1)	(3)
Anzahl an Rekonstruktionen	43	50	22	18	133

\* entspricht Anzahl an Patienten, \*\* an der anderen Extremität

Das Alter der Patienten lag zum OP-Zeitpunkt zwischen 7 Jahre und 92 Jahre, wobei die Altersverteilung eine annähernde Zweigipfligkeit mit einem Maximum bei etwa 40 Jahren bzw. 60 Jahren aufwies (vgl. Abbildung 13).

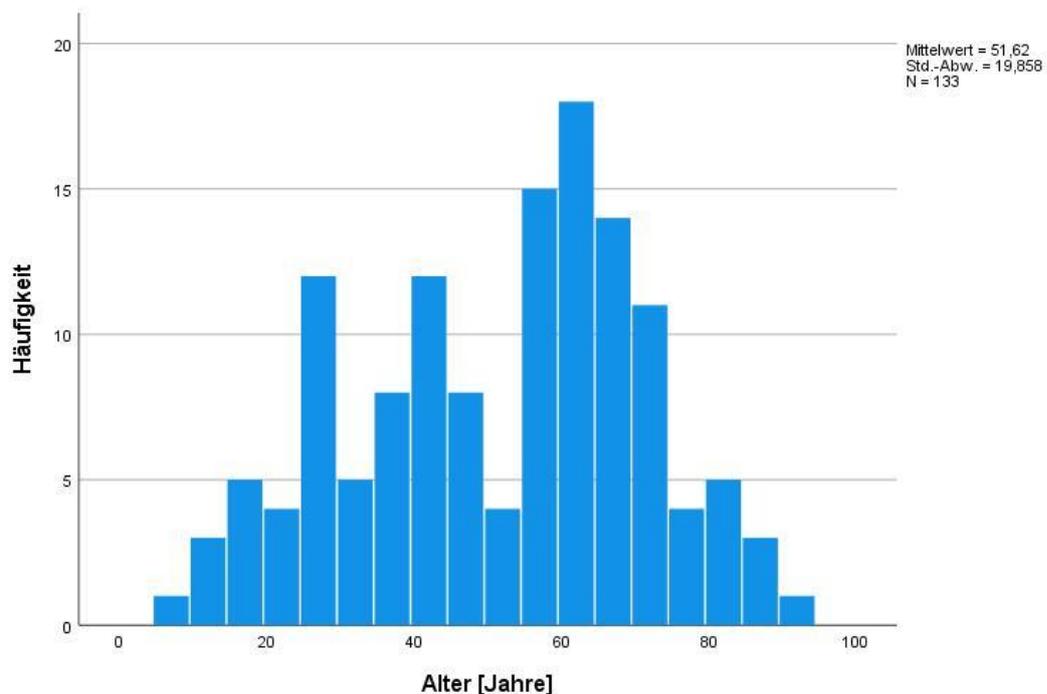


Abbildung 13: Altersverteilung des Studienkollektivs

Für alle in Tabelle 2 aufgeführten Patientencharakteristika bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Rekonstruktionsmethoden, mit Ausnahme der Verteilung der Geschlechter ( $p=0,041$ ) und ASA-Klassen ( $p=0,012$ ). Im direkten Vergleich zwischen freiem Faszio-  
kutanlappen und freiem Muskellappen gab es keine signifikanten Unterschiede.

Eine binär logistische Regressionsanalyse unter den Patienten mit freien Lappen ergab, dass über 60-jährige Patienten ein 5-fach erhöhtes Risiko gegenüber unter 60-jährigen Patienten besaßen, innerhalb des Beobachtungszeitraums von maximal 10 Jahren zu versterben ( $p=0,025$ ). Dies betraf in dieser Arbeit 21,2% der über 60-jährigen. Außerdem war bereits ein Drittel der Patienten mit einer KHK verstorben. Dies ergab ein 6-fach erhöhtes Risiko gegenüber Patienten ohne KHK ( $p=0,014$ ). Wie Tabelle 4 zeigt, nahm das Risiko innerhalb des Beobachtungszeitraums zu versterben, ebenfalls mit einem höheren ASA-Status signifikanten zu ( $OR=14,9$   $p<0,01$ ).

*Tabelle 4: Verstorbene Patienten mit freier Lappenplastik innerhalb des Nachbeobachtungszeitraums*

		gesamt (n)	verstorben (n)	Anteil
Alter (Jahre)	< 30	22	1	4,5%
	30-45	16	1	6,3%
	46-60	22	1	4,5%
	> 60	33	7	21,2%
KHK	nein	81	6	7,4%
	ja	12	4	33,3%
ASA Status	1	19	0	0,0%
	2	39	1	2,6%
	3	34	8	23,5%
	4	1	1	100,0%

## 4.2 Defektcharakteristik

### 4.2.1 Ätiologie

Die Ursachen für einen Weichteildefekt am Vorfuß lassen sich grob in zwei Gruppen unterteilen. Einerseits lagen in etwa 40% der Fälle ( $n=53$ ) traumatische Ursachen wie Décollement, offene Frakturen oder Verbrennungen zu Grunde. Andererseits lag bei etwa 36% der Patienten ( $n=47$ ) chronische Wundheilungsstörungen vor. Dies war zum Beispiel bei Patienten mit diabetischem Fußsyndrom (DFS) oder der peripherer arterieller Verschlusskrankheit (pAVK) der Fall. (vgl. Abbildung 14)

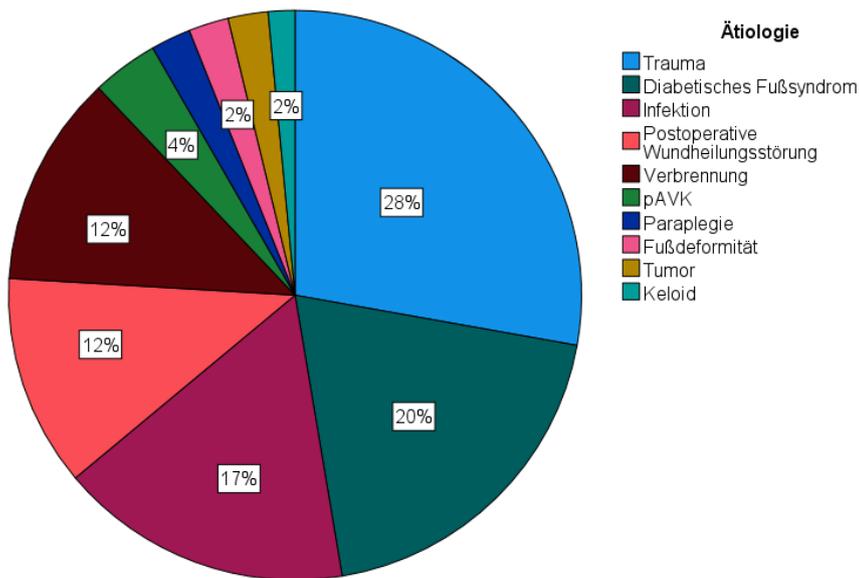


Abbildung 14: Ätiologie für Weichteildefekte am Vorfuß

#### 4.2.2 Defektgröße

Die Größe der Defektfläche reichte von 1 cm<sup>2</sup> bis 750 cm<sup>2</sup>, wobei der Median bei etwa 80 cm<sup>2</sup> lag (vgl. Abbildung 15). Dabei lag die durchschnittliche Defektgröße von freien Lappen mit etwa 100 cm<sup>2</sup> deutlich über der von lokoregionalen Lappen (11 cm<sup>2</sup>) oder Hauttransplantaten (69 cm<sup>2</sup>) (p<0,01) (vgl. Abbildung 16).

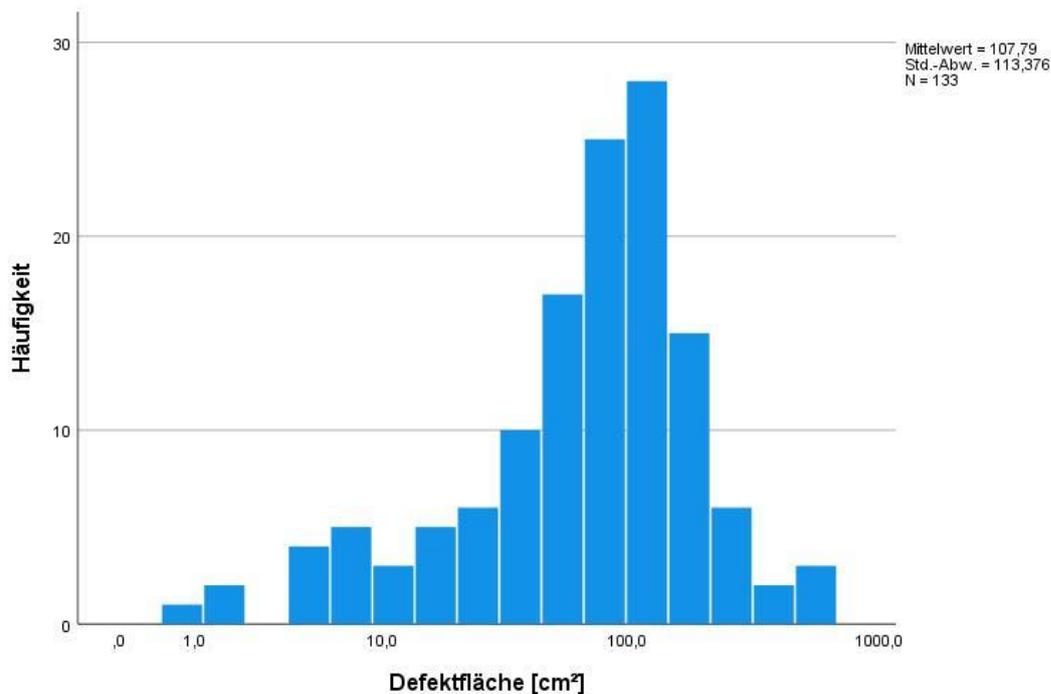


Abbildung 15: Defektflächenverteilung (logarithmische Darstellung)

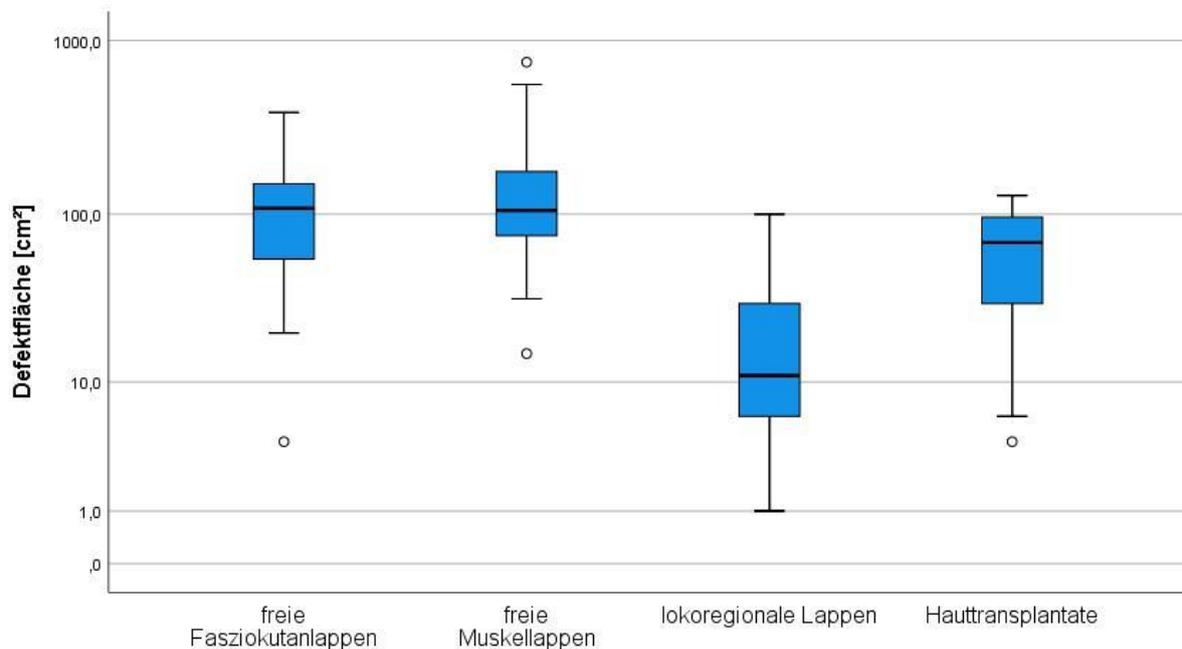


Abbildung 16: Defektflächen unterschieden nach Rekonstruktionsmethode (logarithmische Darstellung)

Für lokoregionale Lappen war eine Rekonstruktion meist nur bis zu einer Defektfläche von etwa 50 cm<sup>2</sup> möglich (vgl. Abbildung 17). Ein Ausreißer in den Daten ist hier als eine Ausnahme zu werten. Größere Defekte mussten mit freien Lappenplastiken versorgt werden, wobei für die beiden häufigsten Lappen (ALT- und M.-Gracilis-Lappen) die Obergrenze bei etwa 400 cm<sup>2</sup> lag (vgl. Abbildung 18). Sehr große Defekte konnten mit einem M. Latissimus dorsi-Lappen bis zu einer Defektgröße von 750 cm<sup>2</sup> gedeckt werden.

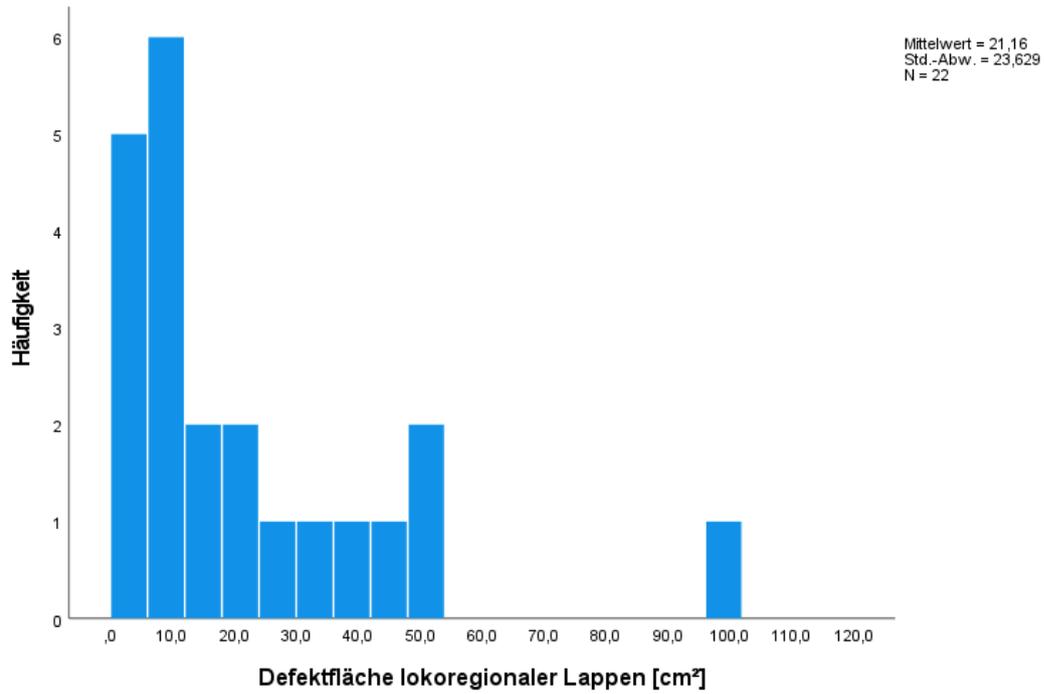


Abbildung 17: Defektflächenverteilung lokoregionaler Lappen

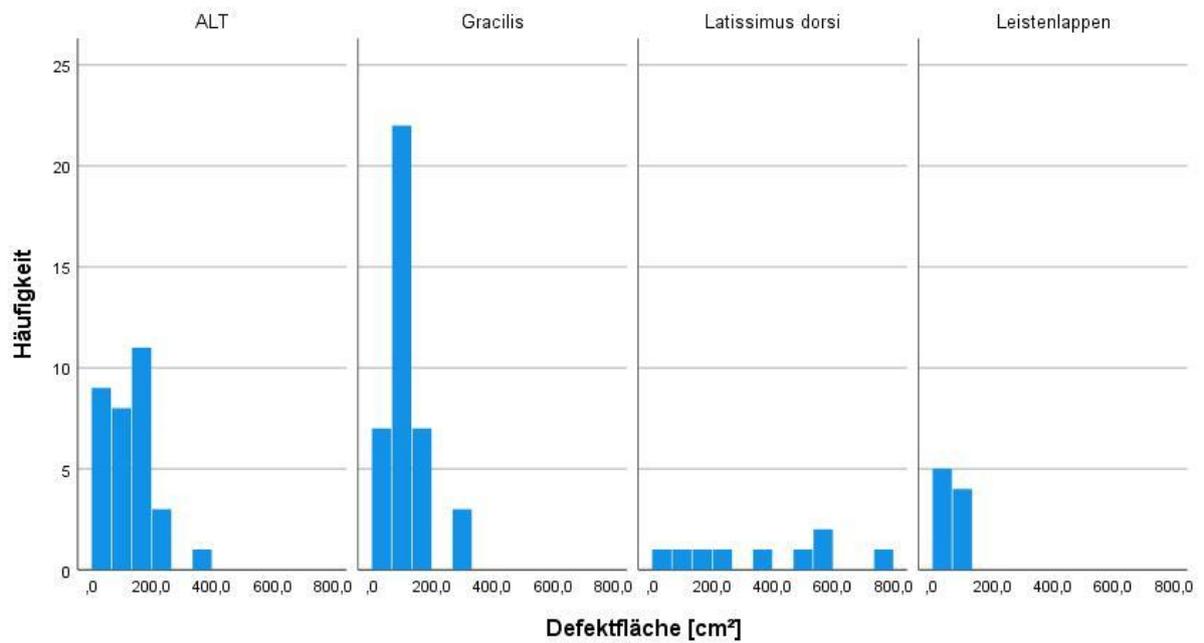


Abbildung 18: Defektflächenverteilung freier Lappen

### 4.2.3 Defektlokalisierung

Bei etwas weniger als der Hälfte der Patienten befand sich der Hauptdefekt an der dorsalen Seite des Vorfußes (n=64), gefolgt von der plantaren Seite (n=29) (vgl. Abbildung 19). Seltener kam es zu Defekten an der medialen (n=23) oder lateralen (n=11) Seite. In ganz wenigen Fällen erfolgte eine Versorgung des distalen Endes des Vorfußes (n=6), zum Beispiel nach einer Zehenamputation.

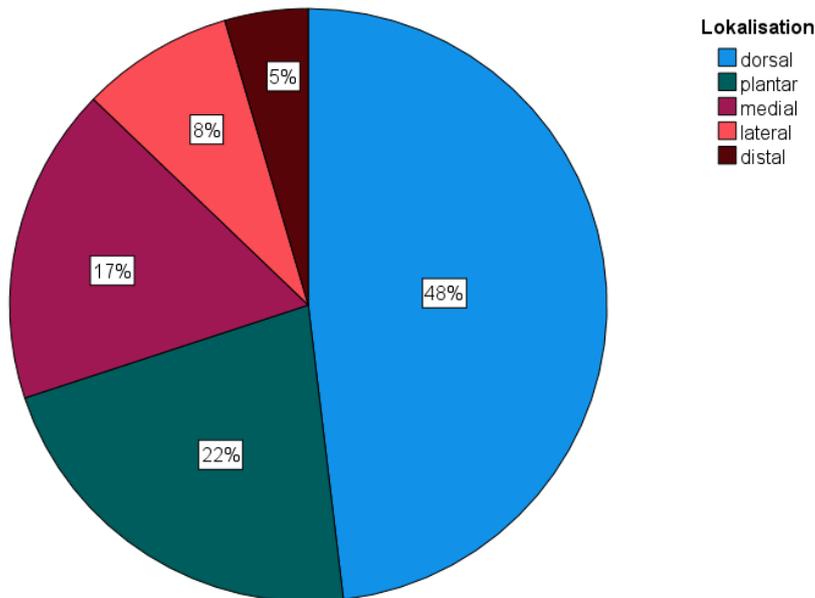


Abbildung 19: Defektlokalisierung

## 4.3 Rekonstruktionsmethoden

Von den 133 Vorfußrekonstruktionen fielen die meisten (n=93) in die Gruppe der freien Lappen. In 22 Fällen erfolgte eine Versorgung mit lokoregionalen Lappen. 8 Patienten erhielten ein Hauttransplantat.

### 4.3.1 Hauttransplantate und lokale/regionale Lappenplastiken

Da der Schwerpunkt der Arbeit auf der Rekonstruktion mittels freier Lappenplastiken lag, wurden Hauttransplantate und lokoregionale Lappenplastiken nicht weiter differenziert.

Abbildung 20 zeigt exemplarisch das Rekonstruktionsergebnis mittels Vollhauttransplantat nach 11 Jahren (rechts) bei einem 63-jährigen Patienten mit Z. n. Vorfußphlegmone (links), nachdem eine Rekonstruktion mit einem freien ALT-Lappen (mittig) fehlschlug.



Abbildung 20: Beispiel Vollhauttransplantation nach ALT-Lappenverlust bei Z. n. Vorfußflegmone

In Abbildung 21 ist das Rekonstruktionsergebnis 5 Jahre nach einer lokalen Verschiebelappenplastik (Mitte, rechts) bei einem 64-jährigen Patienten mit Z. n. diabetischem Fußulcus (links) abgebildet.



Abbildung 21: Beispiel lokale Lappenplastik bei Z. n. diabetischem Fußulcus

#### 4.3.2 Freie Lappenplastiken

Unter den 50 Rekonstruktionen mit freiem Muskellappen wurde der M. Gracilis mit Abstand am häufigsten verwendet (vgl. Tabelle 5). An zweiter Stelle folgte der M. Latissimus dorsi als großer Lappen mit einem Maximum von 750 cm<sup>2</sup>. Unter den 43 Faszio kutanlappen wurde am

häufigsten der ALT-Lappen (Oberschenkelappen) eingesetzt. Dieser zeichnete sich im Gegensatz zum M. Gracilis-Lappen durch einen langen Pedikel von maximal 18 cm aus (vgl. Abbildung 22). Um nicht einen zu kleinen Lappen zu heben, wurde die Lappengröße etwa 24% bis 33% größer als die Defektfläche gewählt (vgl. Tabelle 5). (Mayr-Riedler et al., 2022)

Tabelle 5: Freie Lappencharakteristika

	Anzahl	Defektgröße [cm <sup>2</sup> ]			Lappengröße [cm <sup>2</sup> ]			Pedikellänge [cm]		
		Median	Min.	Max.	Median	Min.	Max.	Median	Min.	Max.
ALT-Lappen	32	120	30	385	160	40	336	9	4	18
M. Gracilis	39	98	32	300	128	40	400	7	4	12
M. Latissimus dorsi	9	336	15	750	416	168	750	9	5	12
Leistenlappen	9	60	4	126	98	40	180	4	1	8
Parascapularlappen	2	123	105	140	166	164	168	8	7	8
M. Rectus femoris	1	105	105	105	n. a.	n. a.	n. a.	5	5	5
M. Serratus	1	50	50	50	n. a.	n. a.	n. a.	5	5	5

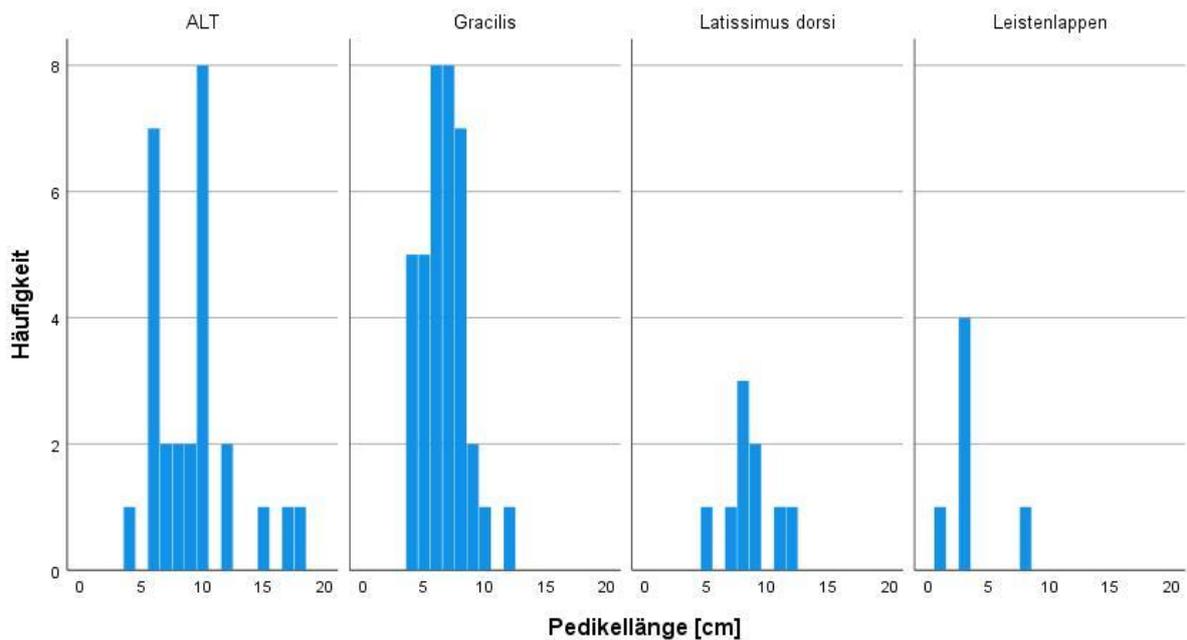


Abbildung 22: Pedikellängenverteilung freier Lappen

Die Ischämiezeit lag sowohl beim Faszio kutan- als auch Muskellappen bei etwa 50 min (vgl. Tabelle 6). Bei etwa der Hälfte der Patienten kam die intraoperative Indocyaningrün-Fluoreszenzangiographie (ICG-Messung) zum Einsatz. In den meisten Fällen wurden eine arterielle Anastomose (97%) sowie zwei venöse Anastomosen (62%) gewählt. Die Gefäße

wurden hierbei meist End-zu-end anastomosiert. Dabei wurden entsprechend der Defektlokalisierung am häufigsten die A./Vv. tibialis anteriores oder A./Vv. dorsales pedis verwendet. Zwischen dem freien Fasziokutan- und Muskellappen bestand in allen genannten Parametern kein signifikanter Unterschied. (Mayr-Riedler et al., 2022)

Tabelle 6: Perioperative Lappencharakteristika (freie Lappen)

	freier Fasziokutanlappen	freier Muskellappen	p-Wert
Defektfläche [cm <sup>2</sup> ]	108 (IQR=110)	105 (IQR=101)	0,37
Pedikellänge [cm]	8 (IQR=4)	7 (IQR=3)	0,16
Ischämiezeit [min]	50 (IQR=30)	48 (IQR=25)	0,69
ICG-Messung	19 (52,8%)	22 (47,8%)	0,66
Anschlussgefäße	A. tibialis ant.	18 (36,0)	0,26
	A. dorsalis pedis	12 (24,0%)	0,26
	A. tibialis post.	16 (32,0%)	0,26
	A. plantaris med.	4 (8,0%)	0,26
	A. fibularis	0 (0,0%)	0,26
art. Anastomosen	1 (IQR=0)	1 (IQR=0)	0,19
End-zu-End	31 (75,6%)	39 (78,0%)	0,29
End-zu-Seit	10 (24,4%)	11 (22,0%)	0,29
ven. Anastomosen	2 (IQR=1)	2 (IQR=1)	0,23
End-zu-End	38 (95,0%)	49 (98,0%)	0,30
End-zu-Seit	2 (5,0%)	1 (2,0%)	0,30

Abbildung 23 zeigt das Rekonstruktionsergebnis mittels fasziokutanem ALT-Lappen 4 Monate (mittig) sowie 5 Jahre (rechts) nach einem Arbeitsunfall (links) bei einem 36-jährigen Patienten.



Abbildung 23: Beispiel fasziokutane ALT-Lappenplastik bei Z. n. Arbeitsunfall

In Abbildung 24 ist das Rekonstruktionsergebnis eines 36-jährigen Patienten mittels freiem M.-Gracilis-Lappen 11 Jahre (rechts) nach einer Vorfußphlegmone abgebildet (intraoperativ: links/Mitte)



Abbildung 24: Beispiel freier M.-Gracilis-Lappenplastik bei Z. n. Vorfußphlegmone

#### 4.4 OP-Dauer und Krankenhaustage

Beim Vergleich der OP-Dauer konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den freien Faszio kutanlappen (307 min) und Muskellappen (310 min) festgestellt werden ( $p=0,79$ ). Lokoregionale Lappen (60 min) und Hauttransplantate (43 min) verzeichneten hierbei signifikant kürzere OP-Zeiten als freie Lappen ( $p<0,01$ ) (vgl. Abbildung 25).

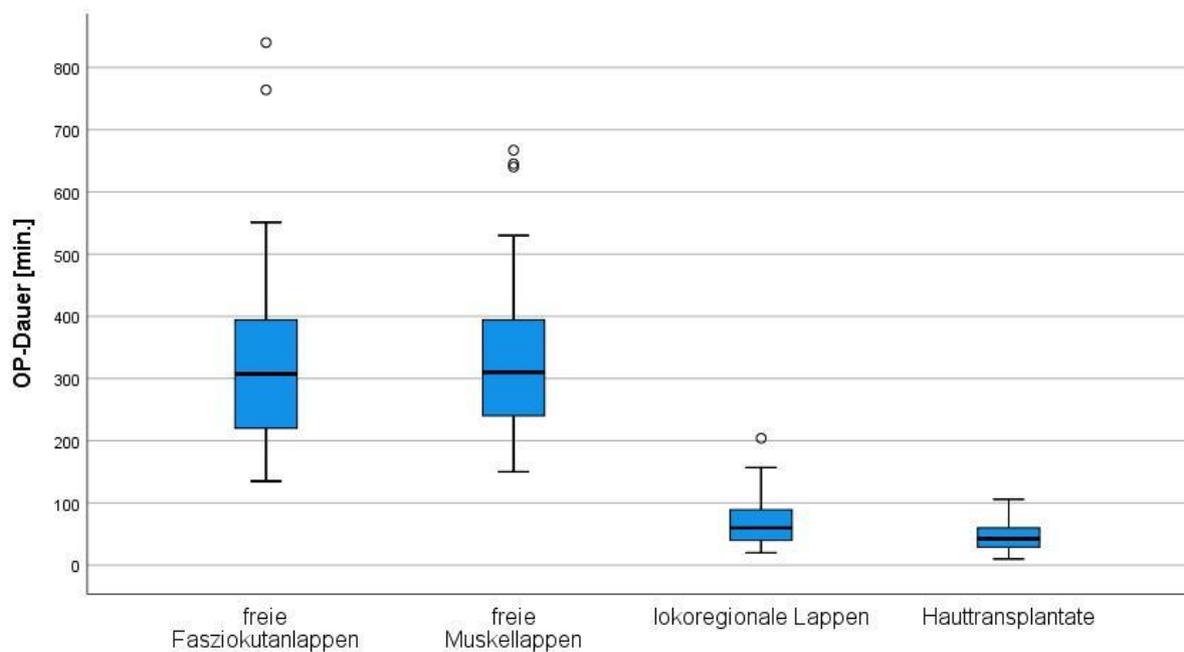


Abbildung 25: OP-Dauer, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

Ähnliche Ergebnisse zeigte ein Vergleich der Krankenhaustage, wobei allgemein eine sehr große Spannweite zwischen dem kürzestem (6 d) und längstem (129 d) Aufenthalt lag (vgl. Abbildung 26). Es bestand kein signifikanter Unterschied ( $p=0,28$ ) zwischen den Patienten mit freiem Fasziokutanlappen (23 d) und Muskellappen (29 d). Lokoregionale Lappen und Hauttransplantate zeigten mit nur 19 Tagen bzw. 15 Tagen eine signifikant kürzere Krankenhausaufenthaltsdauer als freie Lappen ( $p=0,049$ ).

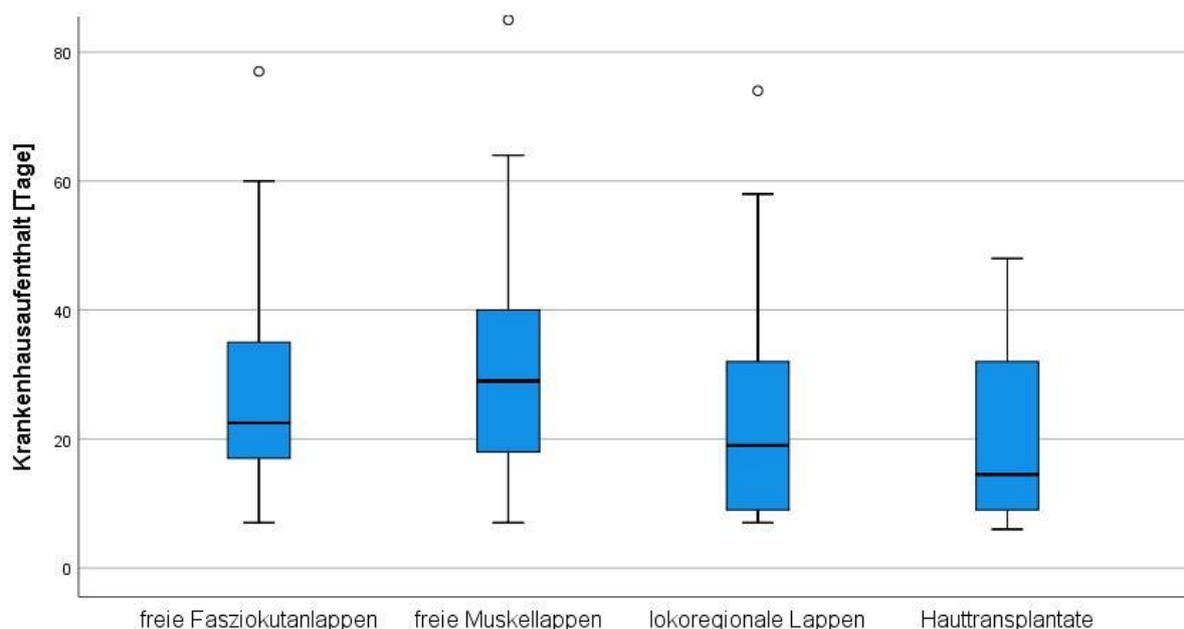


Abbildung 26: Krankenhausaufenthaltsdauer, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

Des Weiteren bestand eine positive Korrelation zwischen der Krankenhausaufenthaltsdauer und dem Alter des Patienten ( $p < 0,01$ ;  $r = 0,405$ ) (vgl. Abbildung 27).

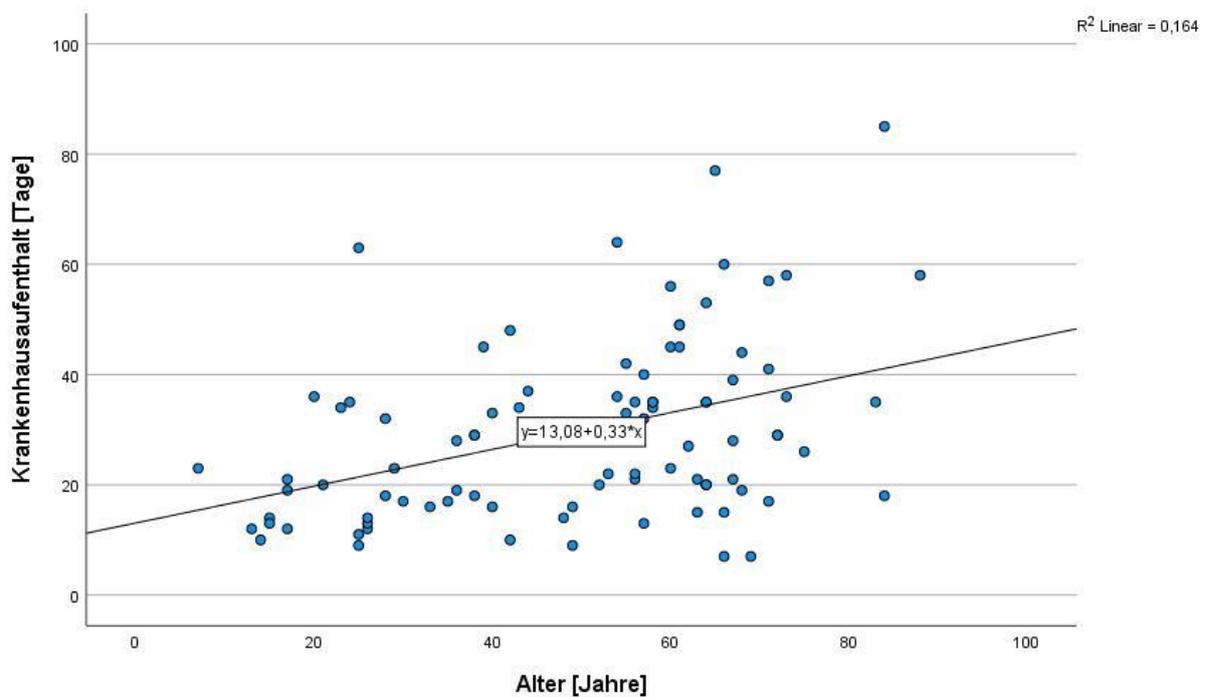


Abbildung 27: Korrelation von Krankenhausaufenthaltsdauer und Alter

## 4.5 Komplikationen

### 4.5.1 Leichte Komplikationen

Insgesamt kam es in 37% der Fälle zu leichten Komplikationen. Die höchste Rate trat mit 48% bei freien Muskellappen auf, wovon 92% reoperiert werden mussten (vgl. Abbildung 28). Hierbei kam es in den meisten Fällen zu Wunddehiszenzen, gefolgt von Spalthautverlusten und partiellen Lappenverlusten  $< 10\%$  (vgl. Abbildung 29). Bei lokoregionalen Lappenplastiken kam es in 45% der Fälle zu leichten Komplikationen, wovon 70% reoperiert werden mussten. Grund hierfür waren ebenfalls Wunddehiszenzen, partielle Lappenverluste bzw. Hautnekrosen. Im Vergleich zum freien Muskellappen fiel die Rate an leichten Komplikationen beim Faszio kutanlappen mit nur 33% niedriger aus ( $p = 0,13$ ). Hiervon mussten 79% der Patienten reoperiert werden. Am seltensten traten leichte Komplikationen bei Hauttransplantaten auf (5,6%).

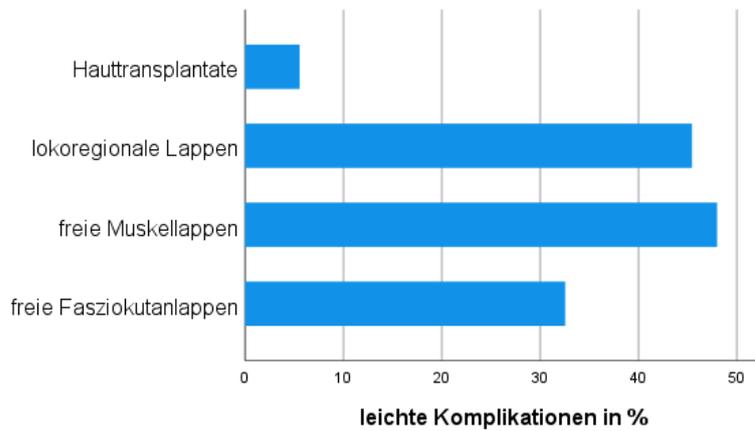


Abbildung 28: Rate an leichten Komplikationen, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

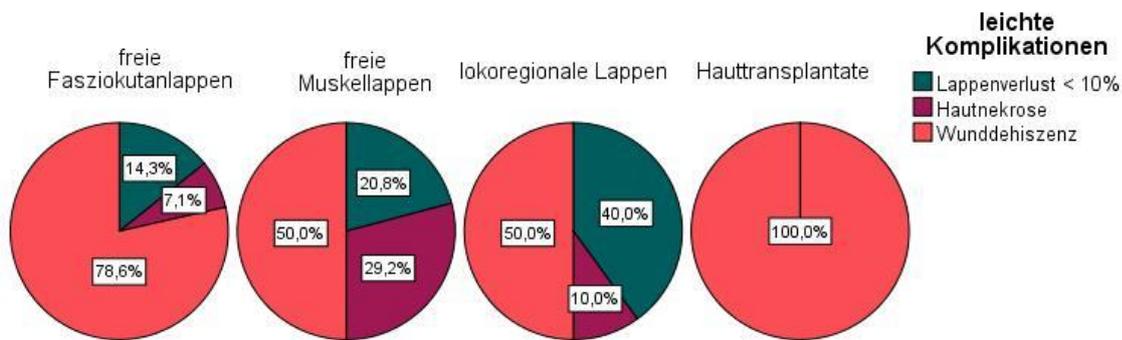


Abbildung 29: Komplikationsarten bei leichten Komplikationen, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

Zur genaueren Untersuchung von möglichen Einfluss- und Risikofaktoren bei der Entstehung von Komplikationen bei freien Lappen erfolgte eine binärlogistische Regressionsanalyse (vgl. Tabelle 7). Diese zeigte, dass Patienten mit multiresistenten Erregern im Vergleich zu Patienten ohne, ein 65-fach höheres Risiko für eine leichte Komplikation besaßen ( $p < 0,001$ ). Ebenso hatten Frauen ein 11 mal höheres Risiko als Männer ( $p = 0,006$ ). Eine Zunahme der Defektfläche um 1 cm<sup>2</sup> erhöhte darüber hinaus das Risiko um 0,7% ( $p = 0,045$ ). Des Weiteren hatten Raucher sowie Patienten mit Osteomyelitis ein erhöhtes Risiko für leichte Komplikationen ( $p = 0,069/0,099$ ). Eine zusätzliche venöse Anastomose hingegen reduzierte das Risiko um 68,8% ( $p = 0,085$ ). (Mayr-Riedler et al., 2022)

Tabelle 7: Logistische Regression für leichte Komplikationen bei freien Lappenplastiken

	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Sig.	OR	95% KI für OR	
Multiresistente Erreger	4,177	1,255	<,001	65,152	5,563	763,047
Geschlecht (weiblich)	2,432	0,893	0,006	11,378	1,978	65,455
Ischämiedauer (min)	-0,046	0,019	0,013	0,955	0,921	0,990
Defektgröße (cm <sup>2</sup> )	0,007	0,004	0,045	1,007	1,000	1,015
Nikotinabusus	1,520	0,837	0,069	4,574	0,887	23,580
Anzahl venöser	-1,164	0,676	0,085	0,312	0,083	1,175
Osteomyelitis	1,516	0,919	0,099	4,553	0,751	27,595
pAVK	1,214	0,894	0,174	3,366	0,584	19,399
OP-Dauer (min)	-0,006	0,003	0,106	0,994	0,988	1,001
-2 Log-Likelihood	Cox & Snell R-Quadrat		Nagelkerkes R-Quadrat			
68,409	0,369		0,497			

#### 4.5.2 Schwere Komplikationen

Insgesamt kam es in 21% der Fälle zu schweren Komplikationen. Diese traten mit 33% am häufigsten bei freien Fasziokutanlappen auf (vgl. Abbildung 30). Hierbei kam es in 57% der Fälle zu Thrombosen, gefolgt von Hämatomen und Lappenverlusten > 10% (vgl. Abbildung 31). Bei freien Muskellappen traten hingegen nur bei 20% eine schwere Komplikation auf. Hier waren ebenfalls meist Thrombosen und Hämatome ursächlich. Signifikant seltener traten schweren Komplikationen bei freien Muskellappen im Vergleich zu freien Fasziokutanlappen bei Patienten nach einer Infektion [8,3% vs. 80% (p=0,003)], bei Verbrennungen [0% vs. 60% (p=0,018)] bzw. Rekonstruktionen der Plantarseite [9% vs. 57% (p=0,026)] auf. Bei Hauttransplantaten kam es nur bei 16,7% zu einer schweren Komplikation. Die geringste Rate trat bei lokoregionalen Lappen mit nur 9% auf. Dieser Unterschied war im Vergleich zu allen freien Lappen (25,8%) nicht signifikant (p=0,091), im Vergleich zu freien Fasziokutanlappen jedoch signifikant (p=0,038). (Mayr-Riedler et al., 2022)

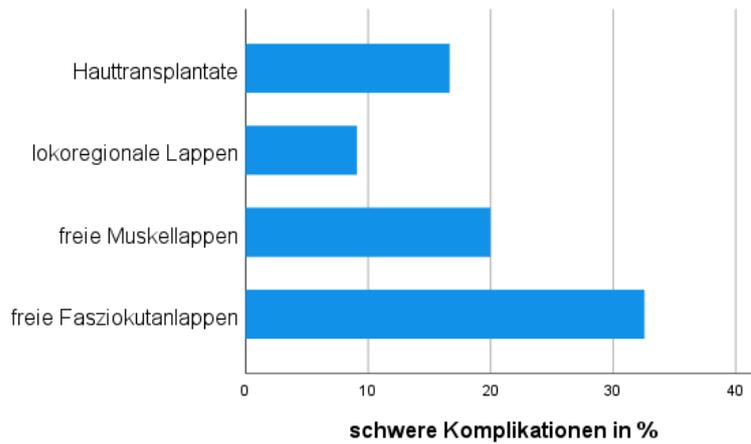


Abbildung 30: Rate an schweren Komplikationen, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

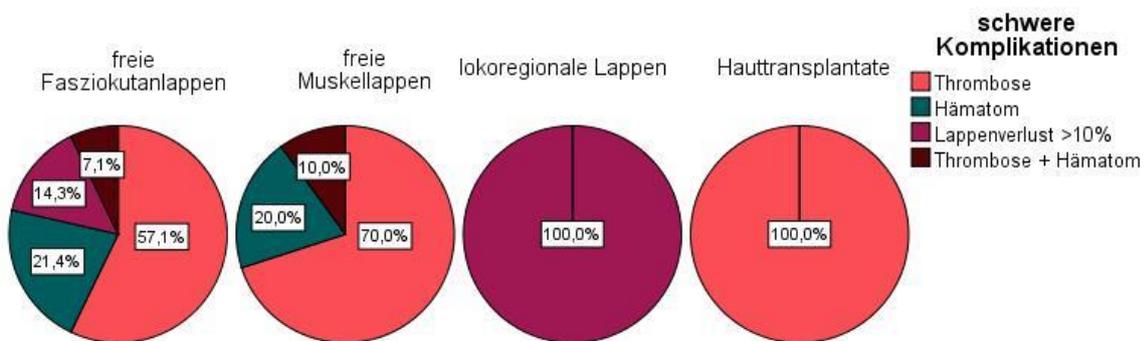


Abbildung 31: Komplikationsarten bei schweren Komplikationen, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

In der binären logistischen Regressionsanalyse freier Lappen (vgl. Tabelle 8) zeigte sich, dass Patienten mit freien Fasziokutanlappen im Vergleich zu Patienten mit Muskellappen ein 14-fach höheres Risiko für schwere Komplikationen besaßen ( $p=0,005$ ). Außerdem erhöhte eine arterielle Hypertonie das Risiko um den Faktor 19 ( $p=0,014$ ). Des Weiteren war eine längere OP-Dauer sowie das Vorliegen einer Osteomyelitis mit einem höheren Risiko assoziiert ( $p=0,029/0,097$ ). Eine zweite venöse Anastomose reduzierte hingegen signifikant das Risiko um 92,2% ( $p=0,022$ ). (Mayr-Riedler et al., 2022)

Tabelle 8: Logistische Regression für schwere Komplikationen bei freien Lappenplastiken

		Regressions- koeffizient B	Standardfehler	Sig.	OR	95% KI für OR	
Lappenart (fasziokutan)		2,663	0,958	0,005	14,341	2,191	93,849
arterieller Hypertonus		2,934	1,196	0,014	18,801	1,803	196,084
Defektgröße (cm <sup>2</sup> )		-0,010	0,004	0,018	0,990	0,982	0,998
Anzahl venöser Anastomosen		-2,546	1,113	0,022	0,078	0,009	0,694
OP-Dauer (min)		0,010	0,005	0,029	1,010	1,001	1,019
Osteomyelitis		1,816	1,096	0,097	6,148	0,718	52,662
Alter		0,040	0,026	0,133	1,040	0,988	1,095
Lokalisation	distal (Ref.)			0,114			
	dorsal	1,289	1,433	0,368	3,631	0,219	60,218
	lateral	3,246	1,900	0,088	25,682	0,620	1064,517
	medial	-2,069	1,820	0,255	0,126	0,004	4,469
	plantar	0,723	1,551	0,641	2,061	0,099	43,087
-2 Log-Likelihood		Cox & Snell R-Quadrat		Nagelkerkes R-Quadrat			
53,239		,385		,563			

### 4.5.3 Totale Lappenverluste

Totale Lappenverluste traten bei 16% der freien Fasziokutanlappen und 8% der Muskellappen auf (vgl. Abbildung 32). Dieser Unterschied war jedoch statistisch nicht signifikant ( $p=0,22$ ). In 17% der Hauttransplantaten kam es zu einem vollständigen Transplantatverlust und letztlich zu einer Vorfußamputation (vgl. Abbildung 33). Bestand nebenbefundlich ein Diabetes Mellitus oder eine periphere arterielle Gefäßerkrankung, so kam es bei 25% ( $n=3/12$ ) zu einer sekundären Vorfußamputation. Unter den lokoregionalen Lappen kam es zu keinen Lappenverlusten. Der Unterschied zwischen freien Lappen und lokoregionaler Lappen war hierbei statistisch nicht signifikant [12% vs. 0% ( $p=0,09$ )].

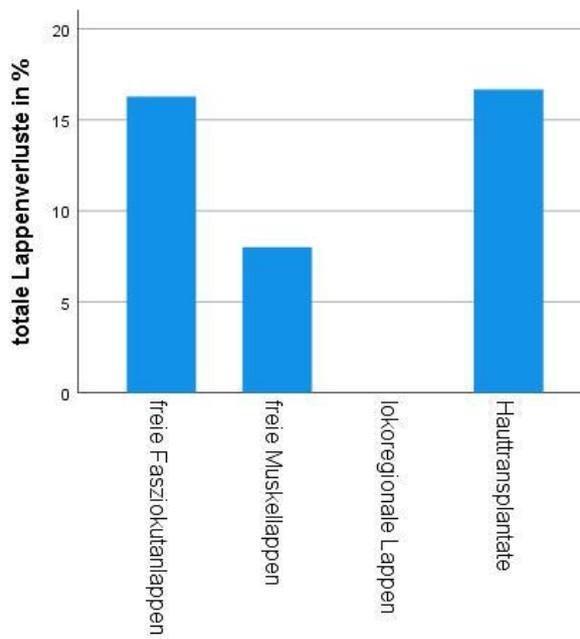


Abbildung 32: Rate an totalen Lappenverlusten, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

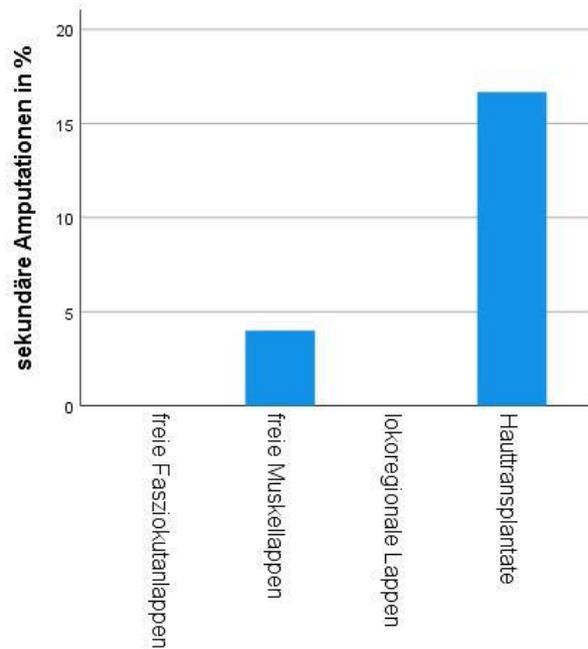


Abbildung 33: Rate an sekundären Vorfußamputationen, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

#### 4.5.4 Re-Operationen

Häufig kam es auf Grund der oben genannten Komplikationen zu Re-Operationen (vgl. Abbildung 34). Diese traten besonders häufig bei freien Muskellappen (62%) auf, wobei meist eine Restdefektdeckung mit Spalthaut oder eine Verschiebelappenplastik notwendig war (vgl. Tabelle 9). Bei Fasziokutanlappen folgte in 54% eine sekundäre Operation. Hierbei kam es meist zu einer Restdefektdeckung mittels Verschiebelappenplastik oder einer Sekundärnaht. In der Gruppe der lokoregionalen Lappen war in 41% eine sekundäre Operation notwendig. Bei 22% der Hauttransplantaten musste eine sekundäre Operation durchgeführt werden. Dabei kam es in zwei Drittel der Fälle zu einer Vorfußamputation als Folge eines vorausgegangenen vollständigen Transplantatverlusts.

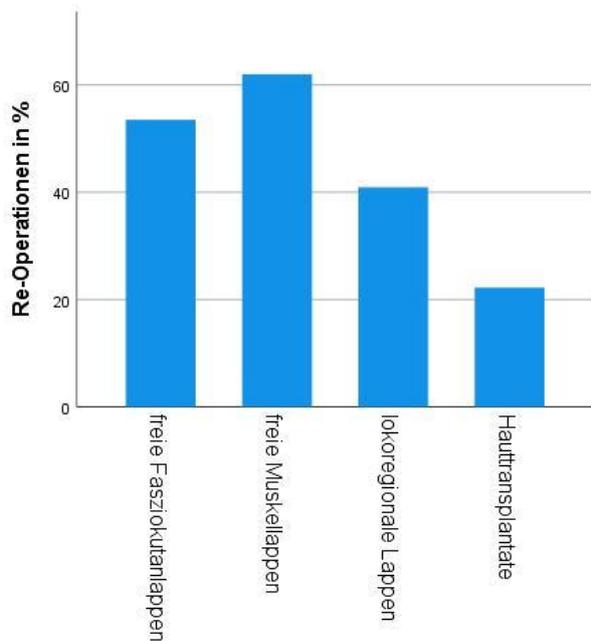


Abbildung 34: Rate an komplikationsbedingten Re-Operationen, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

Tabelle 9: Re-Operationen, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

Sekundäre Re-Operation	Primäre Rekonstruktion							
	freier Muskel- lappen		freier Fasziokutanlappen		lokoregionaler Lappen		Haut- transplantat	
	n	(%)	n	(%)	n	(%)	n	(%)
Amputation nach fehlerhafter Revision	0	0,0%	2	6,5%	0	0,0%	3	75,0%
Lappenersatz: ALT	1	4,3%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Lappenersatz: Gracilis	1	4,3%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Lappenersatz: SHT	2	8,7%	1	3,2%	0	0,0%	0	0,0%
Lappenersatz: Verschiebeplastik	1	4,3%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Lappenersatz: Verschiebeplastik + SHT	0	0,0%	1	3,2%	0	0,0%	0	0,0%
Lappenersatz: Vollhauttransplantation	2	8,7%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Restdefektdeckung: ALT	0	0,0%	1	3,2%	0	0,0%	0	0,0%
Restdefektdeckung: Gracilis	0	0,0%	0	0,0%	1	11,1%	0	0,0%
Restdefektdeckung: Latissimus-dorsi	1	4,3%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Restdefektdeckung: Oberarm-lappen	0	0,0%	0	0,0%	1	11,1%	0	0,0%
Restdefektdeckung: Parascapularlappen	0	0,0%	1	3,2%	0	0,0%	0	0,0%
Restdefektdeckung: SHT	2	8,7%	15	48,4%	2	22,2%	1	25,0%
Restdefektdeckung: Verschiebeplastik	5	21,7%	4	12,9%	2	22,2%	0	0,0%
Restdefektdeckung: Verschiebepl. + SHT	4	17,4%	4	12,9%	2	22,2%	0	0,0%
Restdefektdeckung:	1	4,3%	0	0,0%	1	11,1%	0	0,0%
Sekundärnaht	3	13,0%	2	6,5%	0	0,0%	0	0,0%

## 4.6 Funktionalität

### 4.6.1 ROM-Defizit

In der funktionellen Langzeitanalyse (Follow-up) zeigten sowohl Patienten mit einem freien Fasziokutan- als auch Muskellappen ein durchschnittliches Bewegungsdefizit in Flexions-/Extensionsrichtung im oberen Sprunggelenk von 10° (vgl. Abbildung 35). Das maximale Bewegungsdefizit betrug 40° beim Muskellappen, beim Fasziokutanlappen hingegen nur 25°. Lag als Ursache für den Weichteildefekt ein Trauma zu Grunde, verzeichnete der Muskellappen ein klinisch relevantes höheres Flexionsdefizit als der Fasziokutanlappen [20° vs. 0° (p=0,09)]. Bei lokoregionalen Lappen lag das durchschnittliche Bewegungsdefizit bei 5°, beim Hauttransplantat bei 0°.

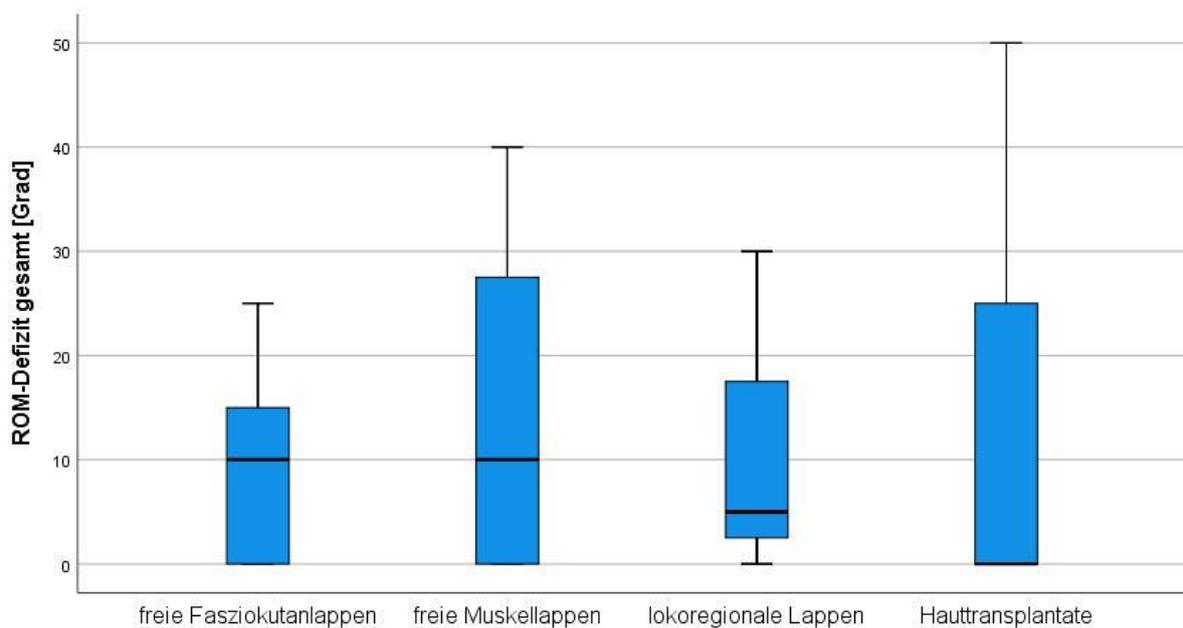


Abbildung 35: ROM-Defizit, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

### 4.6.2 Zehenspitzen-/ Fersengang

Bei der Ausführung des Zehenspitzen- bzw. Fersengangs bestand zwischen dem freien Fasziokutan- und Muskellappen kein signifikanter Unterschied (p=0,78/0,81) (vgl. Abbildung 36). Das beste Ergebnis erzielte die Gruppe der lokoregionalen Lappen, dort hatte kein Patient Einschränkungen. Bei den Hauttransplantaten konnten zwei Drittel der Patienten den Zehenspitzen-/ bzw. Fersengang korrekt durchführen.

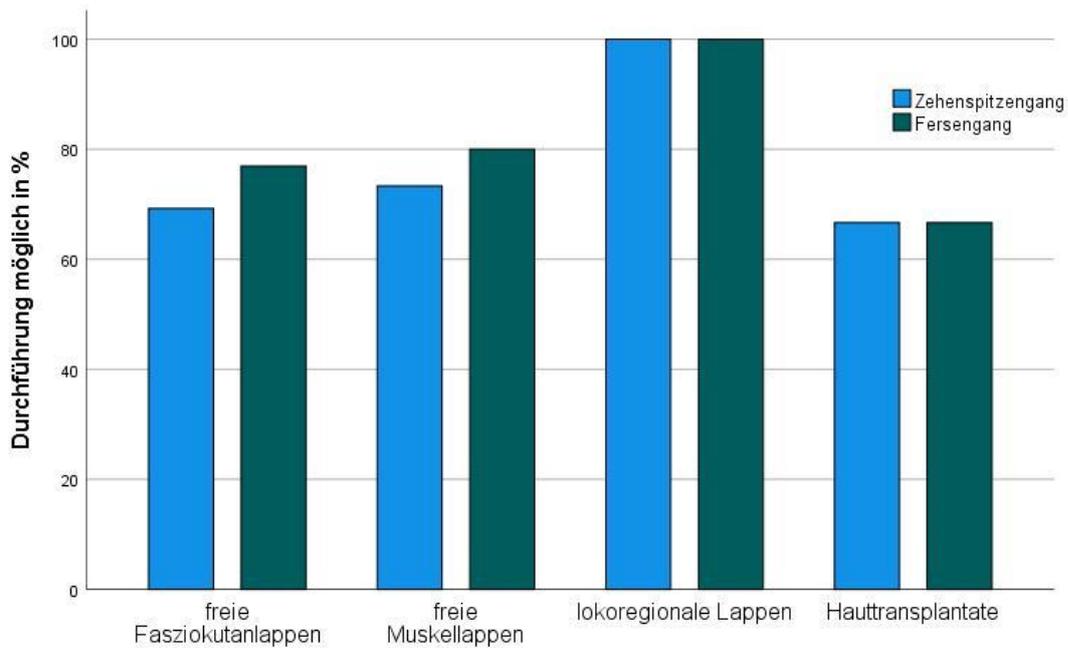


Abbildung 36: Durchführung des Zehenspitzen-/ Fersengangs, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

#### 4.6.3 Sensibilität

Bei Betrachtung der Oberflächen- und Tiefensensibilität bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den freien Fasziokutan- und Muskellappen ( $p=0,75/0,89$ ) (vgl. Abbildung 36). Im Stimmgabeltest zeigten beide Gruppen ein durchschnittliches Sensibilitätsdefizit von 1/8 im Vergleich zur gesunden Seite auf. Im Monofilamenttest wurden im Durchschnitt 2 von 5 Berührungen vom Patienten nicht registriert. Bei lokoregionalen Lappen konnte eine geringfügig bessere Oberflächensensibilität gemessen werden. Kein Sensibilitätsdefizit bestand in der Gruppe der Hauttransplantate.

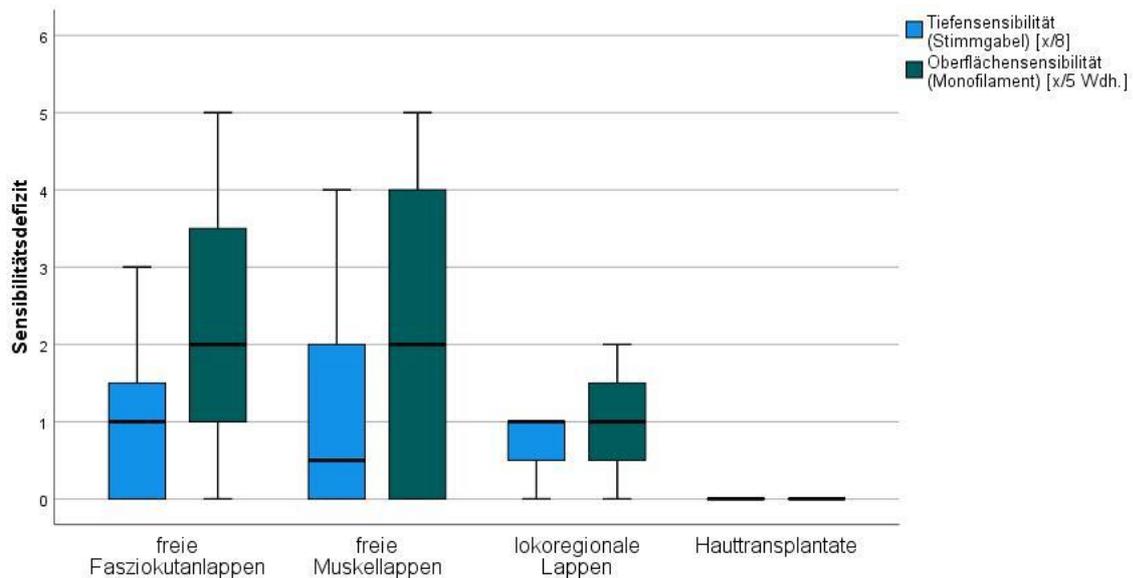


Abbildung 37: Oberflächen-/Tiefensensibilitätsdefizit, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

#### 4.6.4 Schuhwerk

Mehr als die Hälfte der Patienten mit einem freien Fasziokutanlappen konnten wieder normales Schuhwerk tragen (vgl. Abbildung 38). Dies war im Vergleich nur bei einem Viertel der Patienten mit freiem Muskellappen möglich ( $p=0,11$ ). Hier mussten 59% der Patienten orthopädische Schuhe bzw. 18% Einlagen tragen. Am wenigsten Probleme hatten Patienten mit lokoregionalen Lappen bzw. Hauttransplantaten.

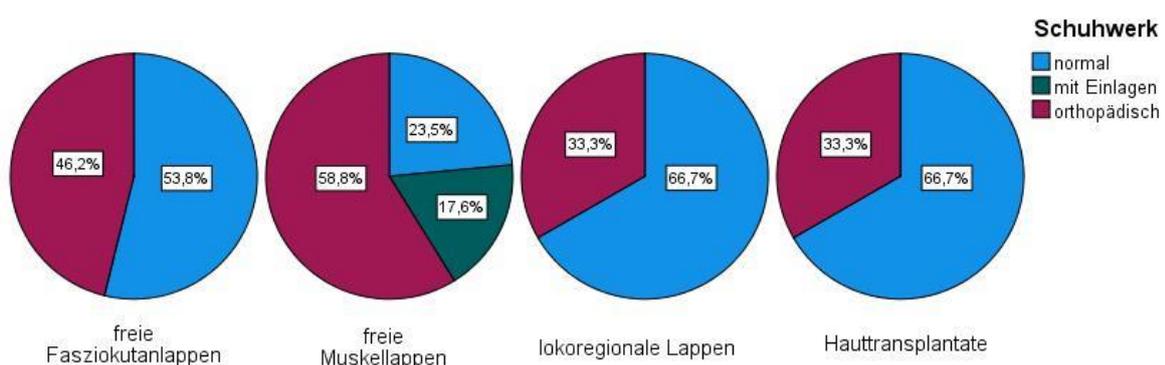


Abbildung 38: Besonderheiten beim Tragen von Schuhwerk, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

## 4.7 Ästhetik (Narbenbildung)

Hinsichtlich der Narbenbildung bestand zwischen den freien Lappenplastiken kein signifikanter Unterschied. Beide Rekonstruktionstechniken erzielten 3 Punkte auf der *Vancouver Scar Scale* (vgl. Abbildung 39). In der Gruppe der Trauma-Patienten erreichte der Fasziojukanlappen jedoch eine signifikant bessere Narbenheilung als der Muskellappen [2 vs. 4 ( $p=0,007$ )]. Eine geringe Narbenbildung verzeichneten lokoregionale Lappenplastiken bzw. Hauttransplantate.

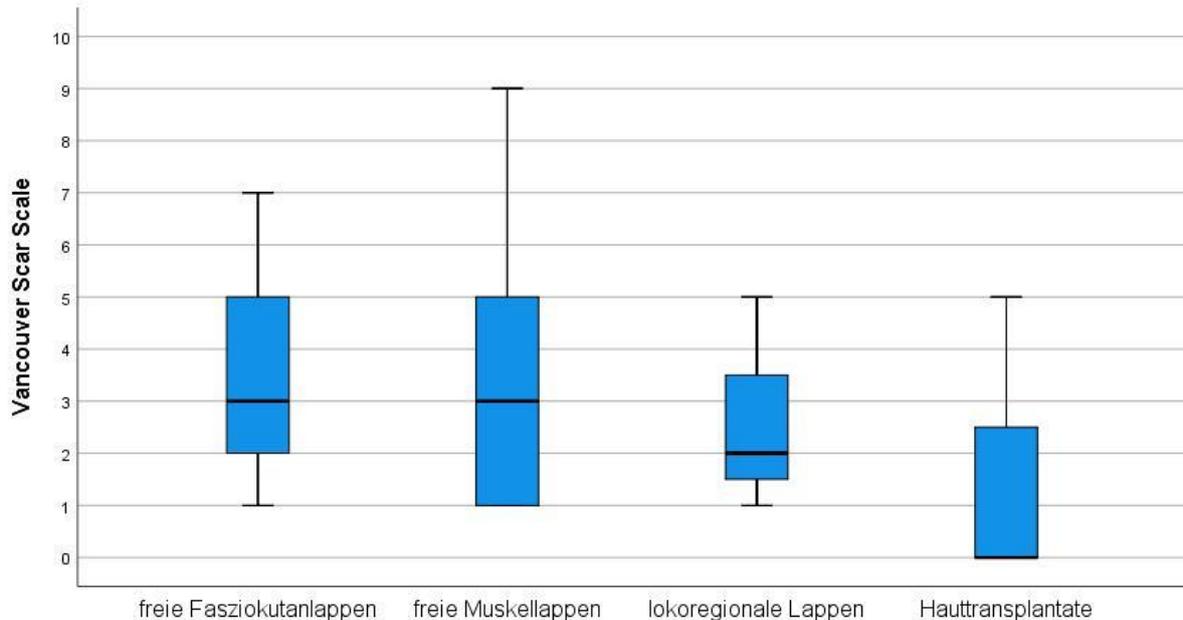


Abbildung 39: Narbenbildung nach Vancouver Scar Scale, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

## 4.8 Zufriedenheit und Lebensqualität

### 4.8.1 Zufriedenheit

Insgesamt zeigte sich in der Langzeitbefragung eine hohe Zufriedenheit bei allen Operationsverfahren (vgl. Abbildung 40). Dabei wurde im Durchschnitt die Schulnoten 1 (sehr gut) bzw. 2 (gut) vergeben. Zwischen den freien Fasziojukanlappen und Muskellappen zeigte sich kein signifikanter Unterschied ( $p=0,49$ ). Die höchste Zufriedenheit bestand bei den lokoregionalen Lappen.

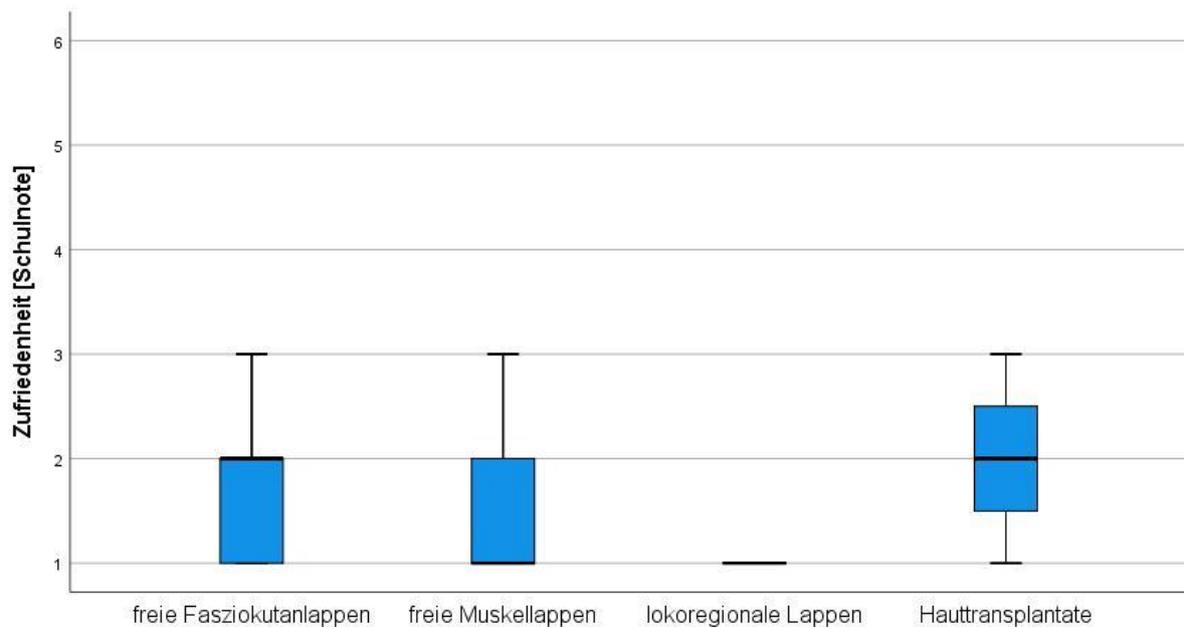


Abbildung 40: Zufriedenheit mit Rekonstruktionsergebnis, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

#### 4.8.2 Lebensqualität (SF-36)

Die hohe Zufriedenheit in der Gruppe der lokoregionalen Lappen spiegelte sich auch im SF-36 Fragebogen zur Bestimmung der Lebensqualität wider (vgl. Abbildung 41). Hier verzeichneten Patienten mit lokoregionalen Lappen keine Einschränkungen in den Kategorien körperliche Rollenfunktion, soziale Funktionsfähigkeit bzw. körperliche Schmerzen.

In der Gruppe der Patienten mit freiem Fasziokutanlappen gaben 38% der Patienten an, zumindest teilweise im Alltag auf Grund ihrer physischen Gesundheit eingeschränkt zu sein (vgl. Abbildung 42). Ebenso häufig sei ihre soziale Funktionsfähigkeit dadurch eingeschränkt. Patienten mit einem freien Muskellappen litten hierbei häufiger an Einschränkungen ( $p=0,10$ ). Ähnlich hoch lag die Rate bei Hauttransplantaten. Dort gaben 67% der Patienten an, im Alltag sowie in ihrer sozialen Funktionsfähigkeit eingeschränkt zu sein.

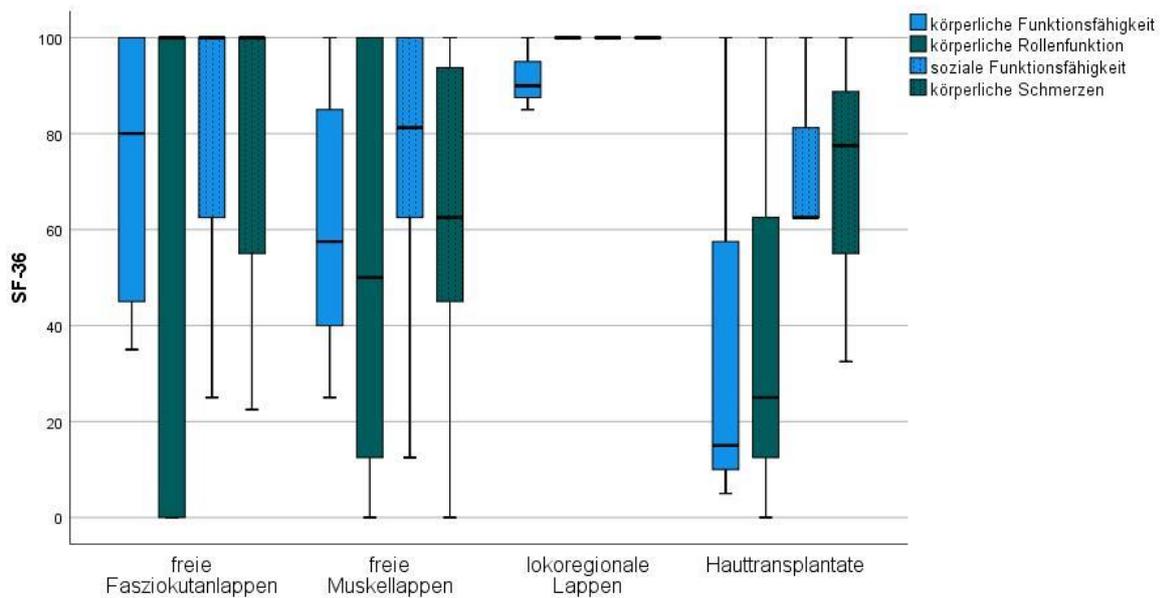


Abbildung 41: SF-36 Fragebogen zur Lebensqualität, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

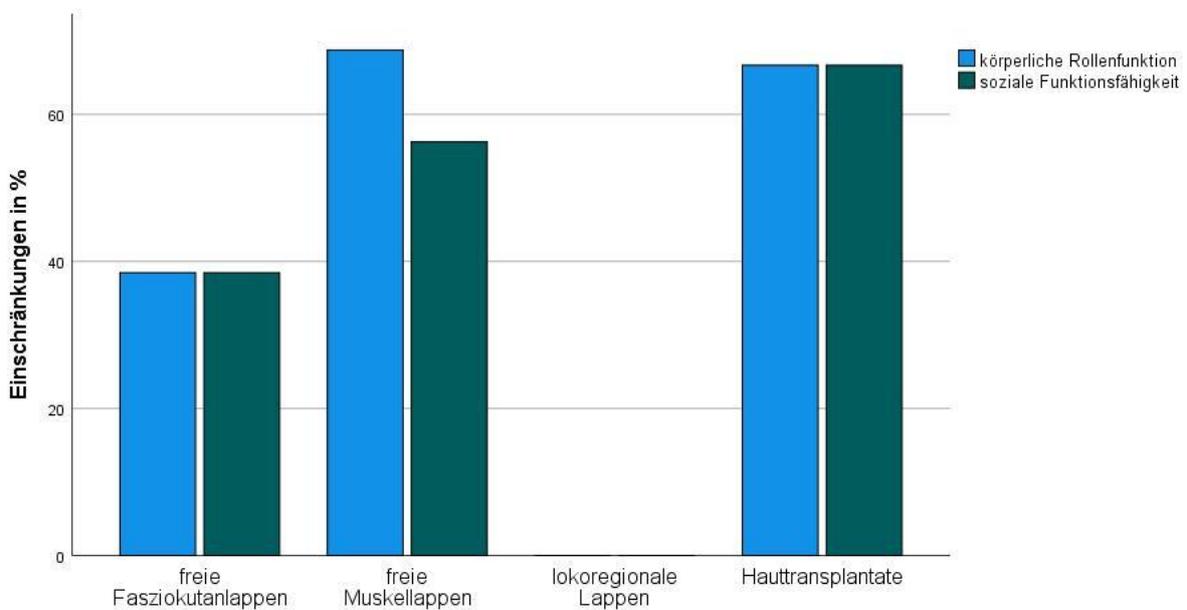


Abbildung 42: Anteil im Alltag eingeschränkter Patienten, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

### 4.8.3 Schmerzen

Die Hälfte der Patienten mit einem freien Muskellappen gaben bei der Nachuntersuchung an, an persistierenden Schmerzen zu leiden (vgl. Abbildung 43). Dies betraf zu 44% die Empfängerstelle und zu 19% die Entnahmestelle (vgl. Abbildung 44). Patienten mit freiem

Fasziokutanlappen litten mit 31% seltener an Schmerzen ( $p=0,14$ ). In der Gruppe der Trauma-Patienten war dieser Unterschied signifikant ( $p=0,049$ ). Allgemein nahmen die Schmerzen unter Belastung um etwa 50-75% zu (vgl. Abbildung 45). In der Gruppe der lokoregionalen Lappen und Hauttransplantaten wurden keine Schmerzen angegeben.

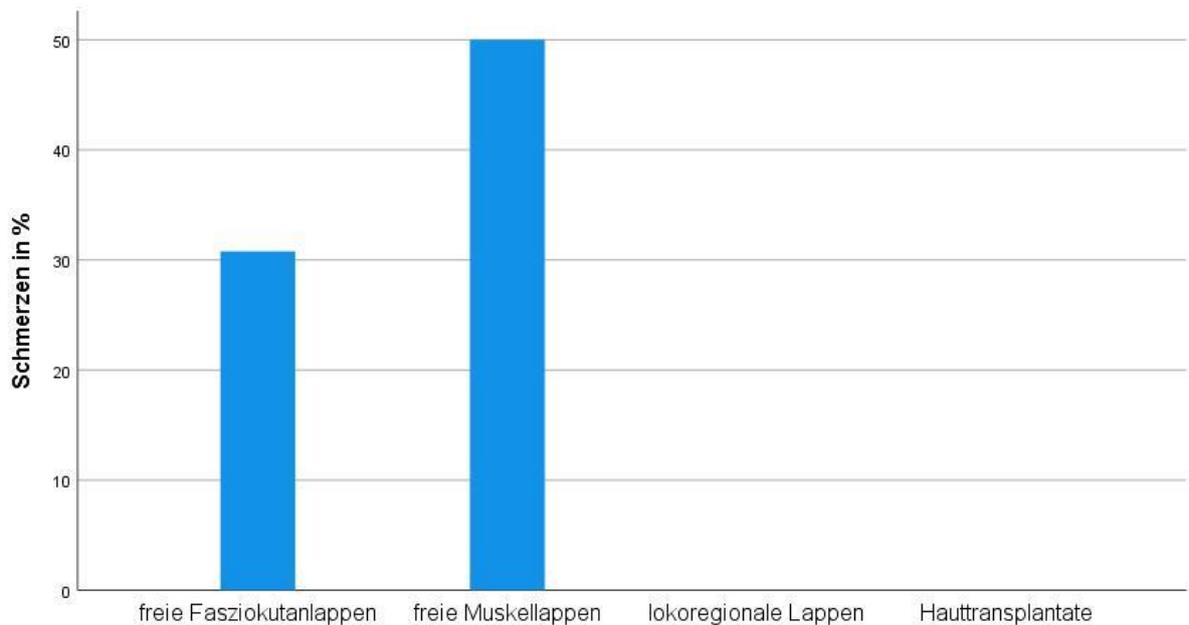


Abbildung 43: Schmerzen an der Entnahme- bzw. Empfängerstelle, unterteilt nach Rekonstruktionsmethode

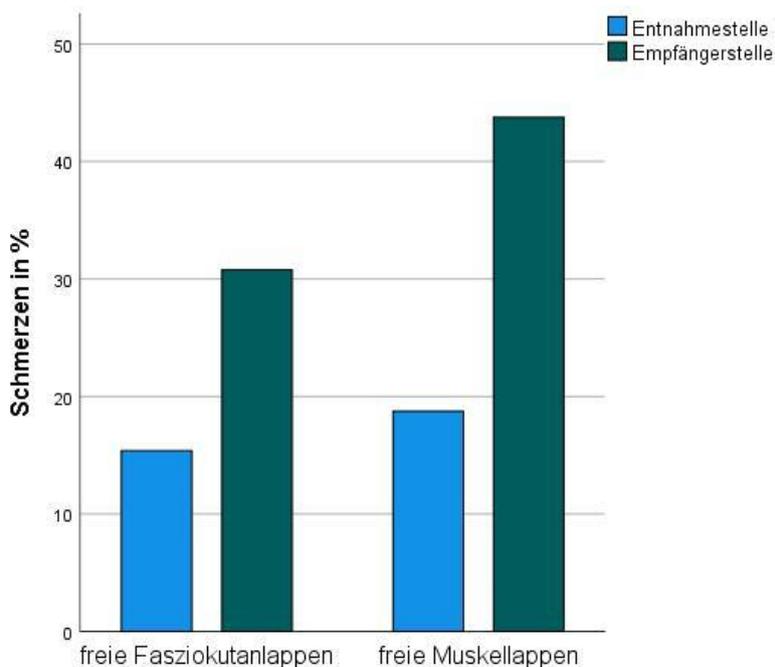


Abbildung 44: Schmerzen freier Lappen, unterteilt nach Lokalisation

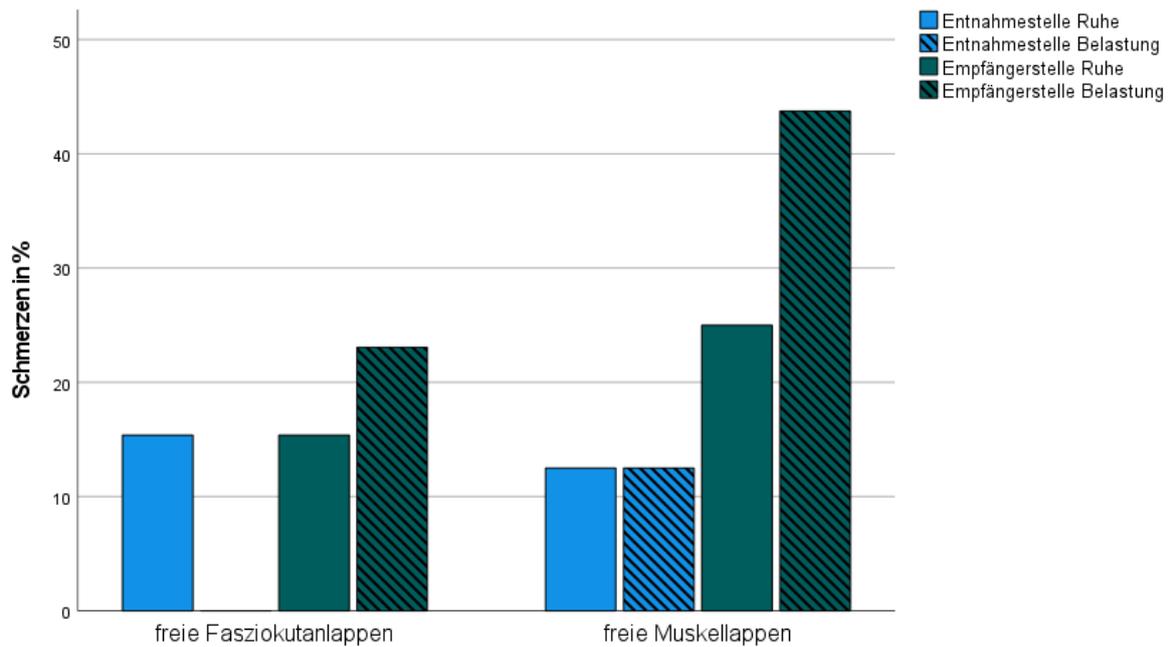


Abbildung 45: Schmerzen freier Lappen, unterteilt nach Lokalisation und Belastung

#### 4.9 Algorithmus zur Versorgung komplexer Weichteildefekte am Vorfuß

Der folgende Entscheidungsbaum gibt Antwort auf die in der Zielsetzung formulierten Hypothesen und fasst die Ergebnisse dieser Arbeit zusammen (vgl. Abbildung 46). Hierbei werden die in dieser Studie am häufigsten verwendeten Rekonstruktionsarten berücksichtigt.

Obwohl *freie Hauttransplantate* sich durch eine sehr kurze OP-Dauer (43 min), einen kurzen Krankenhausaufenthalt sowie fehlende Sensibilitätsdefizit und Schmerzen auszeichneten, wiesen sie eine hohe Rate an vollständigen Transplantatverlusten (17%) mit der Folge von sekundären Vorfußamputationen auf. Da diese ohnehin für komplexe Vorfußdefekte ungeeignet sind und nur für kleinere, oberflächliche Defekte verwendet werden sollten, werden sie im folgenden Modell nicht berücksichtigt.

*Lokale Lappenplastiken* zeichneten sich durch eine sehr niedrige Rate an schweren Komplikationen (9%) bei 100%-iger Lappenüberlebensrate aus sowie einem hohen Maß an Funktionalität (sehr geringes ROM-Defizit, keine Einschränkungen im Fersen-/Zehenspitzenang, geringes Sensibilitätsdefizit, keine Schmerzen oder Einschränkungen im Alltag) aus. Daher sollten lokale Lappenplastiken bei der Versorgung von Weichteildefekten

der Fußregion gegenüber freien Lappenplastiken präferiert werden. Dies steht im Einklang mit Hypothese 1 (niedrigere Komplikationsrate). Auf Grund des Mangels an verschieblichem Gewebe und dem entstandenen Hebedefekt, war dies jedoch nur bis zu einer Defektgröße von 50 cm<sup>2</sup> möglich.

Zur Versorgung von Weichteildefekten über 50 cm<sup>2</sup> waren freie Lappenplastiken notwendig, wobei Defekte über 400 cm<sup>2</sup> auf Grund seiner Größe ausschließlich mit einem *M. Latissimus-dorsi-Lappen* gedeckt werden konnten.

Bei Weichteildefekten zwischen 50 cm<sup>2</sup> und 400 cm<sup>2</sup> entschied die Entfernung zum nächstmöglichen Anschlussgefäß über die Wahl der Rekonstruktionsmethode. Bei Entfernungen über 10 cm konnte auf Grund des längeren Pedikels lediglich eine Rekonstruktion mittels freiem fasziokutanem *ALT-Lappen* erfolgen. Lagen die Anschlussgefäße unter 10 cm entfernt, war auch eine Rekonstruktion mittels *M.-Gracilis-Lappen* möglich. Freie Muskellappen zeichneten sich im Vergleich zu Fasiokutanlappen durch eine niedrigere Rate an schweren Komplikationen aus [20% vs. 33% (p=0,17)], insbesondere nach Verbrennungen [0% vs. 60% (p=0,018)], Infektionen [8,3% vs. 80% (p=0,003)] und plantaren Rekonstruktionen [9% vs. 57% (p=0,026)]. Damit wurden Hypothese 4 (niedrigere Komplikationsrate) und 5 (niedrigere Komplikationsrate bei Infektionen) bestätigt. In diesen genannten Fällen sowie bei Patienten mit hohem perioperativem Risiko, wo ein schwerer Folgeeingriff vermieden werden muss, sollte die Wahl auf einen Muskellappen wie dem *M. Gracilis* fallen.

Fasziokutanlappen wie der *ALT-Lappen* konnten hingegen tendenziell eine bessere Funktionalität erzielen: So konnten Patienten häufiger ein normales Schuhwerk tragen [54% vs. 24% (p=0,11)] und hatten seltener Einschränkungen im Alltag [38% vs. 69% (p=0,10)], insbesondere bei dorsalen Rekonstruktionen [38% vs. 78% (p=0,092)] oder Patienten mit Z. n. Trauma [25% vs. 67% (p=0,086)]. Letztere verzeichneten bei Rekonstruktionen mit freiem Fasziokutanlappen ein geringeres ROM-Defizit [0° vs. 20° (p=0,09)], sowie signifikant geringere Narbenbildung [VSS=2 vs. 4 (p=0,007)] und seltener Schmerzen [31% vs. 50% (p=0,049)]. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den Hypothese 2 (ROM-Defizit) und 3 (Narbenbildung). Gleichwohl konnte die logistische Regressionsanalyse ein signifikant höheres Risiko für schwere Komplikationen aufzeigen [OR=14 (p=0,005)], sodass eine Rekonstruktion mit freiem Fasziokutanlappen wie dem *ALT-Lappen* nur bei Patienten mit niedrigerem perioperativem Risiko und hohem funktionellen Anspruch erfolgen sollte. Bei Patienten mit Z.

n. Trauma oder dorsaler Rekonstruktion kann zudem die Verwendung eines ALT-Lappen erwogen werden.

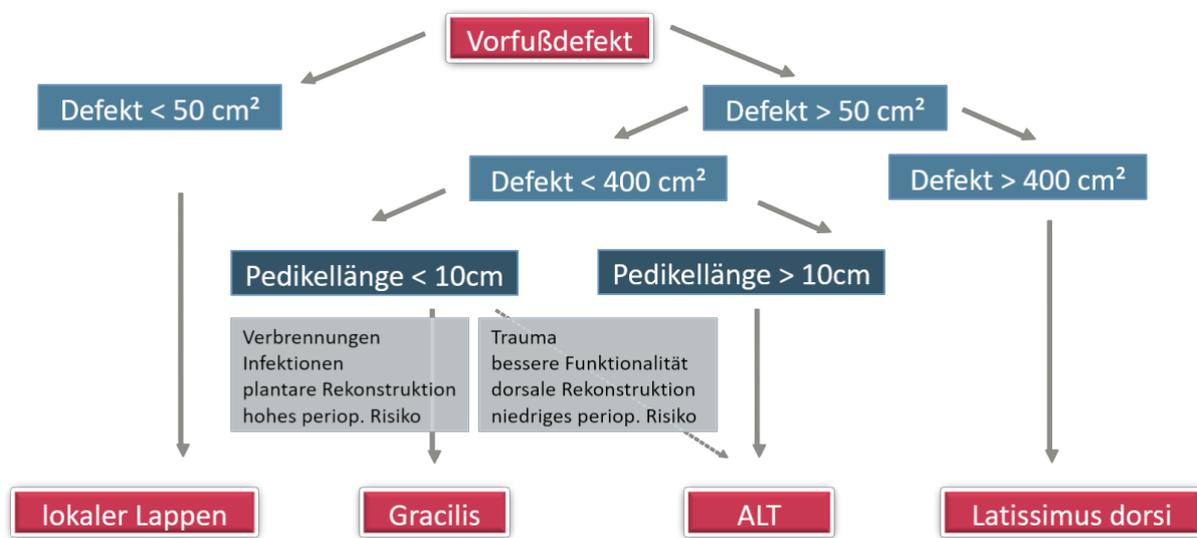


Abbildung 46: Entscheidungsbaum zur Versorgung komplexer Weichteildefekten am Vorfuß

## 5 Diskussion

### 5.1 Zusammenfassung der Hauptergebnisse

Um Patienten mit einem Weichteildefekt der Vorfußregion in Zukunft bestmöglich versorgen zu können, wurde hierzu erstmals eine Studie unter Berücksichtigung des operativen, funktionellen und ästhetischen Outcomes durchgeführt. Dafür wurden 133 Rekonstruktionen (18 Hauttransplantate, 22 lokoregionale Lappen, 93 freie Muskel-/Fasziokutanlappen) von 119 Patienten (37 weiblich, 96 männlich) zwischen 7 und 92 Jahren analysiert.

Die Ergebnisse zeigten, dass kleinere oberflächliche Wunden außerhalb von Druckzonen mittels Hauttransplantat adäquat versorgt werden konnten. Tiefere Defekte mit freiliegenden Knochen oder Sehnen unter 50 cm<sup>2</sup> sollten, wenn möglich, durch lokoregionale Lappenplastiken gedeckt werden, da diese eine niedrige Rate an schweren Komplikationen aufwiesen und ein hohes Maß an Funktionalität erzielten. Im Vergleich zwischen freiem Fasziokutan- und Muskellappen, stellte sich der Muskellappen im Rahmen dieser Arbeit als sicherere Methode dar. Dieser zeigte eine signifikant geringere Rate an schweren Komplikationen, insbesondere bei plantarer Rekonstruktion, nach Verbrennungen und Infektionen. Der Fasziokutanlappen hingegen erzielte tendenziell ein besseres funktionelles und ästhetisches Ergebnis, vor allem bei Trauma-Patienten oder dorsaler Defektlokalisation.

Die Studie ergab, dass die Komplikationsrate für freie Lappenplastiken in der Vorfußregion über der allgemeinen Rate für freie Lappenplastiken lag. Eine Regressionsanalyse konnten zeigen, dass u. a. arterielle Hypertonie, OP-Dauer, Multiresistente Erreger, weibliches Geschlecht und Defektgröße das Risiko für Komplikationen signifikant erhöhen. Eine zusätzliche venöse Anastomose reduzierte hingegen das Risiko für Komplikationen signifikant.

## 5.2 Diskussion der Methoden

### 5.2.1 Studienkollektiv

Insgesamt wurden 133 Vorfußrekonstruktionen (43 freie Faszioskutanlappen, 50 freie Muskellappen, 22 lokoregionale Lappen, 18 Hauttransplantate) in dieser Arbeit analysiert, wobei der Anteil der Männer überwog. Auf Grund der weit gefassten Einschlusskriterien, ist das Studienkollektiv hinsichtlich Alter, Risikofaktoren, Defektgröße, Defektlokalisation und Ätiologie stark diversifiziert. Dies ermöglicht eine allgemeingültigere Aussage über Patienten mit Vorfußdefekten, berücksichtigt dadurch jedoch weniger individuelle Patientengruppen. Da die Operationen von mehreren qualifizierten Operateuren aus zwei verschiedenen Kliniken durchgeführt wurden, sind perioperative Komplikationen nicht auf individuelle Kompetenzen zurückzuführen.

Patienten mit Hauttransplantaten oder lokoregionalen Lappenplastiken waren im Durchschnitt älter und hatten häufiger einen hohen ASA-Score (58% 3 oder 4). Zwischen Patienten mit freiem Faszioskutanlappen und freiem Muskellappen gab es hinsichtlich demographischer Merkmale keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ ). Generell lässt sich das Studienkollektiv in zwei Hauptgruppen unterteilen: Einerseits jüngere und gesündere Patienten mit einem Weichteildefekt auf Grund eines Traumas, andererseits ältere Patienten mit Weichteildefekten auf Grund degenerativer Gefäßerkrankungen. Vergleichbare Studien zu Rekonstruktionen der unteren Extremität oder der Fußregion haben hingegen häufig nur jüngere gesündere Patienten mit traumatischen Weichteildefekten eingeschlossen (May et al., 1985; Potparic & Rajacic, 1997; Rainer et al., 1999; Sönmez et al., 2003; Uluçay et al., 2006). Zudem wird in einigen Studien nur das Outcome einer Rekonstruktionsmethode (z. B. Muskellappen) untersucht und diese nicht mit anderen verglichen (Harris et al., 1994; Hong, 2006; Hong & Kim, 2007; Loréa et al., 2001; May et al., 1985; Nalamlieng et al., 2019). Daher konnten in den genannten Publikationen nur Aussagen über ein bestimmtes Patientenkontinuum mit einer spezifischen Rekonstruktion getroffen werden. Diese Arbeit hingegen ermöglicht eine allgemeinere Aussage, welche wiederum nur bedingt auf spezifische Patientengruppen zutrifft.

Von allen 119 eingeschlossenen Patienten sind 36 Patienten (30,3%) zu einer Langzeitnachsuntersuchung erschienen (13 freie Faszioskutanlappen, 17 Muskellappen, 3 lokoregionale Lappen, 3 Hauttransplantate). Theoretisch wäre ein Selection-Bias möglich, falls Patienten mit einem besonders guten oder schlechten Rekonstruktionsergebnis eine

Nachuntersuchung abgelehnt hätten. Auf Grund der geringen Anzahl an Patienten in der Nachuntersuchung (v. a. mit lokoregionalen Lappen oder Hauttransplantaten) sind Vergleiche zwischen den Gruppen nur bedingt möglich. Vergleichbare Studien mit Langzeituntersuchungen in anderen Fußregion weisen meist eine ähnlich geringe Anzahl an Patienten auf (Lu et al., 2019; May et al., 1985; Potparic & Rajacic, 1997; Sönmez et al., 2003; Uluçay et al., 2006). Wenige Studien hatten größere Fallzahlen (ca. n=70) (Heidekrueger et al., 2019; Hong, 2006).

### **5.2.2 Datenerhebung**

Retrospektiv wurden u. a. Alter, Geschlecht, Ätiologie, Risikofaktoren, ASA-Status, Defektgröße/-lokalisierung, OP-Dauer sowie Krankenhaustage erfasst. Bei freien Lappenplastiken wurden zusätzlich u. a. Informationen über Lappengröße, Anschlussgefäß, Anzahl und Art der Anastomosen, Pedikellänge, Ischämiezeit erhoben. Auf Grund des retrospektivischen Studiendesigns ist die Arbeit einem erhöhten Risiko für Verzerrungen („Bias“) ausgesetzt. In seltenen Fällen konnten Datensätze wegen lückenhafter Dokumentation nicht vervollständigt werden. Es wurden alle defektbezogenen Komplikationen, welche seit der ersten Operation am Vorfuß aufgetreten sind, erfasst (Median ca. 6 Jahre). Der genaue Zeitraum bis zum Auftreten einer Komplikation wurde dabei nicht erfasst. Es wurde zwischen leichten Komplikationen (Wunddehiszenz, Spalthautdefekt oder Lappenverlust < 10%) und schweren Komplikationen (thrombembolischem Gefäßverschluss, Hämatom oder Lappenverlust > 10%) unterschieden. Lappenausdünnungen ohne zugrundeliegende Komplikation wurden nicht gezählt. Ebenso erfolgte bei freien Lappen keine Unterscheidung von Komplikationen an der Entnahme-/Empfängerstelle. Vergleichbare Studien wurden ebenfalls retrospektiv durchgeführt, wobei der Beobachtungszeitraum häufig nur wenige Monate bis Jahre betrug, sodass Spätkomplikationen (z. B. Ulzerationen) nicht erfasst werden konnten (Harris et al., 1994; Hollenbeck et al., 2010; Hong, 2006; Hong & Kim, 2007; Lu et al., 2019; May et al., 1985; Potparic & Rajacic, 1997; Sönmez et al., 2003; Uluçay et al., 2006). In einzelnen Studien wurden zudem Komplikationen der Entnahmestelle gesondert aufgeführt sowie Lappenausdünnungen/-einpassungen (ohne Komplikation) mit erhoben. Dies ermöglicht eine differenziertere Betrachtung der Komplikationen (Heidekrueger et al., 2019; Rainer et al., 1999).

### 5.2.3 Messdurchführung

Zur Bewertung der gesundheitsbezogenen funktionellen Einschränkungen erhielten alle Patienten einen standardisierte und validierten SF-36-Gesundheitsfragebogen (Ware & Sherbourne, 1992). Außerdem wurden mögliche Schmerzen, das Schuhwerk sowie die subjektive Zufriedenheit mit dem Rekonstruktionsergebnis erfragt (Hawker et al., 2011). In der anschließenden körperlichen Untersuchung wurden u. a. der Fersen-/Zehenspitzenang, das Bewegungsdefizit sowie die Oberflächen-/Tiefensensibilität zur Bestimmung des funktionellen Outcomes bestimmt (J. J. Brown et al., 2017; Hitman, 2012). Des Weiteren erfolgte eine Beurteilung der Narbenbildung als Messinstrument für das ästhetische Outcome (Baryza & Baryza, 1995). Vergleichbare Studien mit funktionellen Langzeitanalysen am Fuß gingen methodisch ähnlich vor (Heidekrueger et al., 2019; Potparic & Rajacic, 1997; Rainer et al., 1999; Sönmez et al., 2003). Teilweise wurden kinematische Ganganalysen zur Beurteilung des funktionellen Outcomes eingesetzt (Hong & Kim, 2007; May et al., 1985) bzw. das Gangbild qualitativ bewertet (Potparic & Rajacic, 1997; Rainer et al., 1999). Vereinzelt wurde der LEFS-Score (*lower extremity functional scale*) als Alternative zum SF-36 eingesetzt und das ästhetische Outcome vom Untersucher qualitativ beurteilt (Rainer et al., 1999).

### 5.2.4 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse wurde selbstständig mittels SPSS Statistics 26 durchgeführt (IBM Corp., 2019). Zunächst erfolgte die deskriptive Statistik in Form graphischer bzw. tabellarischer Darstellungen, sowohl für die gesamte Population als auch getrennt nach Rekonstruktionsmethode. In der Inferenzstatistik wurde versucht die Nullhypothesen durch statistische Tests (Chi-Quadrat-Test, Exakter Fischer-Test, Mann-Whitneys U-Test, Kruskal-Wallis-Test) zu widerlegen. Problem bei der direkten Gegenüberstellung zweier Rekonstruktionsmethoden ist, dass neben der Rekonstruktionstechnik weitere Faktoren (z. B. Alter, Geschlecht, Defektgröße-/lokalisierung, Ätiologie, Risikofaktoren) einen Einfluss auf das funktionelle, ästhetische und operative Outcome haben könnten. Um den Einfluss diese Störfaktoren (*Confounder*) zu ermitteln wurden Regressionsmodelle (soweit möglich) eingesetzt. Bei der Betrachtung geringer Fallzahlen (wie in der Langzeitanalyse), kommt es auf Grund der geringen Power zu einer höheren Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 2. Art, sodass möglicherweise ein bestehender Unterschied zwischen den Gruppen nicht nachzuweisen ist.

Entsprechend dem Zitat „*Absence of evidence is not evidence of absence*“ (Altman & Bland, 1995), können daher bei geringen Fallzahlen nicht-signifikante Ergebnisse dennoch klinisch relevant sein. Dies ist womöglich auch der Grund, warum vergleichbare Studien (mit geringen Fallzahlen) keine signifikanten Unterschiede zwischen freien Fasziokutan- und Muskellappen feststellen konnten (Potparic & Rajacic, 1997; Sönmez et al., 2003). Allerdings bedeutet das jedoch nicht automatisch, dass kein Unterschied zwischen den Gruppen bestehe, wie eine Gruppe führender Wissenschaftler in einem Artikel aus dem *nature* betonten (Amrhein et al., 2019).

### **5.2.5 Modellierung des Algorithmus**

Die Modellierung des Algorithmus zur Auswahl der geeignetsten Rekonstruktionsmethode für Weichteildefekten des Vorfußes erfolgte unter Berücksichtigung der postoperativen Komplikationsraten, operativen Determinanten (Defektgröße, Anschlussgefäße) sowie Funktionalität (ROM-Defizit, Gangbild, Sensibilität, Schuhwerk), Ästhetik (Narbenbildung) und Patientenzufriedenheit. Hierdurch konnte eine besonders vielschichtige Betrachtungsweise erzielt werden, welche in dieser Form von keinen anderen Autoren zuvor erreicht wurde.

Abdelfattah et al. publizierten einen Algorithmus für freie Perforatorlappen zur Rekonstruktion der unteren Extremität unter Berücksichtigung operativer Faktoren wie OP-Lagerung, Lappengröße, -dicke und -zusammensetzung sowie Pedikellänge. Hierbei blieb das operative und funktionelle (Langzeit-) Outcome unberücksichtigt (Abdelfattah et al., 2019).

Der Algorithmus von Haug et al. zur Versorgung von Weichteildefekten am Fuß und Sprunggelenk berücksichtigt neben der Defektlokalisierung und -größe auch Sensibilität, Druck, Scherkraft und Dicke. Die Ergebnisse basieren hierbei jedoch lediglich auf Literaturrecherchen zu verschiedenen Rekonstruktionsmethoden. Rekonstruktionsübergreifende klinische Untersuchungen fehlten. (Haug et al., 2008)

Menke et al. veröffentlichte einen Algorithmus zur Behandlung von Fersendefekten unter Berücksichtigung der Defekttiefe, -größe und Belastung. Dieser basierte jedoch rein auf retrospektiv erhobenen Daten, ohne das funktionelle (Langzeit-) Outcome zu betrachten. (Menke et al., 2000)

Auf Grund der Vielzahl an berücksichtigten Analyseparametern inklusive der Ergebnisse einer funktionellen Langzeitbeobachtung und des stark diversifizierten Studienkollektivs in dieser Arbeit, konnte ein Algorithmus mit einer größtmöglichen Allgemeingültigkeit zur Versorgung von Weichteildefekten am Vorfuß modelliert werden. Gleichwohl gilt es das retrospektivische Studiendesign sowie die geringe Anzahl an Patienten aus der Langzeitanalyse zu berücksichtigen.

## 5.3 Diskussion der Ergebnisse

### 5.3.1 Freie Hauttransplantate

Freie Hauttransplantate zeichneten sich durch eine kurze *OP-Dauer* (43 min) und einem kurzen *Krankenhausaufenthalt* (15 d) aus. Dabei waren nur selten *sekundäre Operationen* notwendig (22%), was unter anderem auf eine geringe Rate an *leichten Komplikationen* (5,6%) zurückzuführen ist. Diese Rate an sekundären Operationen ist vergleichbar mit den Ergebnissen von Menke et al. bei der Versorgung Fersendefekten. Dort lag die Komplikationsrate bei 25%. (Menke et al., 2000)

Patienten mit kleinen, oberflächlichen Verletzungen außerhalb von Druckzonen zeigten sich in der Langzeituntersuchung beschwerdefrei bei gut erhaltener Sensibilität. Unter diesen Voraussetzungen erzielten andere Autoren ebenfalls gute funktionelle Ergebnisse in der Fußregion (Bordianu et al., 2018; Walters et al., 2020).

Für größere Weichteildefekte sind Hauttransplantate ungeeignet. In 17% der Fälle kam es im Verlauf zu einem vollständigen Transplantatverlust, woraufhin der Vorfuß anschließend amputiert werden musste. Die liegt daran, dass Hauttransplantate Druck- und Scherkräften schlecht Widerstand leisten können und daher nur außerhalb von Druckzonen verwendet werden sollten (Menke et al., 2000; S. J. Oh et al., 2011; Scheufler et al., 2007; Walters et al., 2020). Da sowohl der plantare als auch dorsale Vorfuß zu den direkten bzw. indirekten Druckzone zählen, sind Hauttransplantate zur Rekonstruktion der Vorfußregion wenn möglich zu vermeiden (Haug et al., 2008; S. J. Oh et al., 2011).

Bestand nebenbefundlich ein Diabetes Mellitus oder eine periphere arterielle Gefäßerkrankung, so kam es im Verlauf sogar bei einem Viertel der Patienten zu einer sekundären

Vorfußamputation. Demgegenüber zeigte die Studie von Bordianu et al. für die Wundversorgung bei Diabetischem Fußsyndrom, dass nach vorheriger Revaskularisation sowie einer Vakuumtherapie bei keimfreien und granulierenden Wunden in 88% der Fälle eine komplikationsfreie Rekonstruktion mit Spalthaut möglich war (Bordianu et al., 2018).

### 5.3.2 Lokale/regionale Lappenplastiken

Nach dem Prinzip „like replaces like“ bringen lokoregionale Lappenplastiken identische Gewebeeigenschaften (Widerstandsfähigkeit, Elastizität, Dicke) mit sich und erzielten dadurch hervorragende *funktionelle* und *ästhetische* Ergebnisse. In der Langzeituntersuchung gaben alle Patienten an, ihren Aktivitäten im Alltag ohne funktionelle Einschränkungen nachgehen zu können. Das geringe Bewegungsdefizit von 5° ermöglichte zudem ein normales Gangbild (inkl. Fersen-/Zehenspitzenangang). Zu demselben Ergebnis kam auch Oh et al. bei der Untersuchung plantarer Rekonstruktionen (S. J. Oh et al., 2011).

Außerdem zeigte sich eine gute Einheilung der Lappen mit nur geringer Narbenbildung und vollständig erhaltener Sensibilität. Folglich bestand eine sehr hohe Zufriedenheit (Schulnote 1) mit dem Rekonstruktionsergebnis. Ähnliche Ergebnisse ergaben Studien zu Rekonstruktionen anderer Fußregionen (Baker et al., 1990; Haug et al., 2008; Russo et al., 2014; Scaglioni et al., 2018).

Lokoregionale Lappenplastiken zeichneten sich durch signifikant kürzere *OP-Dauern* sowie kürzeren *Krankenhausaufenthalte* im Vergleich zu freien Lappen aus [310 vs. 60 min ( $p < 0,01$ ) / 28 vs. 19 d ( $p = 0,049$ )]. Dies führte zu einem geringeren Anästhesie-Risiko und einer früheren Mobilisation (Paragas et al., 2000). Ähnliche Ergebnisse zeigten auch Publikationen anderer Autoren. Dort lagen Patienten mit freier Lappenplastik etwa 31 Tage stationär, wohingegen Patienten mit lokalen Lappen das Krankenhaus nach 10 Tagen verlassen konnten (Parrett et al., 2006; Pinsolle et al., 2006). Die OP-Dauer für lokoregionale Lappenplastiken lag in anderen Studien ebenfalls unter einer Stunde (Russo et al., 2014).

Zudem stellten lokoregionale Lappen mit nur 9% *schwere Komplikationen* und ohne vollständigen Lappenverluste eine sichere Rekonstruktionsmethode dar. Hierbei war die Rate an schweren Komplikationen nicht-signifikant niedriger als bei freien Lappen [9% vs. 26%

( $p=0,09$ )]. Ebenso kam es seltener zu totalen Lappenverlusten [0% vs. 12% ( $p=0,09$ )]. Zu demselben Ergebnis kamen Pinsolle et al. bei einer Untersuchung von 215 Rekonstruktionen an der unteren Extremität. Dort lag die allgemeine Komplikationsrate bei lokoregionalen Lappen (18%) nicht-signifikant unterhalb der von freien Lappen (27%), weshalb lokoregionale Lappen als Mittel erster Wahl angesehen wurden (Pinsolle et al., 2006). In der Untersuchung Menke et al. hingegen kam es bei 35% der Patienten mit lokoregionalen Lappen an der Ferse zu einer schweren Komplikation, wobei hier das Patientenklientel älter und schwerer vorerkrankt war (Menke et al., 2000).

Bei etwa 45% der Patienten kam es zu *leichten Komplikationen* (v. a. Wunddehiszenz, partieller Lappenverlust <10%), wovon 70% reoperiert werden mussten. Vergleichbare Studien zeigten bei Rekonstruktionen in der Fußregion ähnliche Ergebnisse. Bei Oh et al. kam es bei 38% der Patienten zu partiellem Lappenverlust, wobei das Patientenklientel jünger und weniger vorerkrankt war (S. J. Oh et al., 2011). Pallua et al. konnte zeigen, dass auch unter Diabetikern eine erfolgreiche Rekonstruktion mit lokoregionalen Lappen möglich ist. Hierbei kam es bei 33% der Vorfußrekonstruktionen zu leichten Komplikationen (Pallua et al., 2000).

Die vorliegenden Daten zeigen, dass lokoregionale Lappenplastiken wann immer es die Defektgröße (<50 cm<sup>2</sup>), -begebenheit und -lokalisation ermöglicht, zu bevorzugen sind. Dies entspricht auch der häufig vertretenden Meinung vieler Autoren (Engel et al., 2011; Haug et al., 2008; Koh et al., 2018; Paragas et al., 2000; Pinsolle et al., 2006; Rodriguez et al., 2009; Scheufler et al., 2007).

Leider ist jedoch auf Grund der Defektgröße und des Mangels an verfügbarem Gewebe in der Fußregion eine Rekonstruktion mit lokoregionalen Lappenplastiken nicht immer möglich (Clark & Sherman, 1993; Russo et al., 2014). Dies ist unter anderem nach traumatischen Verletzungen der Fall, da hier meist kein gesundes Gewebe mehr zur Verfügung steht (Heitmann & Levin, 2003). Auch ist der dadurch entstandene Hebedefekt vor allem am Fußrücken nicht zu vernachlässigen. Daher ist beispielsweise bei Patienten mit körperlich schwerer Arbeit und starker mechanischer Belastung der Füße eher eine Rekonstruktion mittels freier Lappen zu erwägen (Krag & Riegels-Nielsen, 1982).

Ferner muss eine adäquate Durchblutung der unteren Extremität gewährleisten sein, um eine erfolgreiche Einheilung zu erreichen (Rab et al., 2008; Scheufler et al., 2007).

### 5.3.3 Freie Lappenplastiken

#### 5.3.3.1 Allgemeiner Überblick

Die *Überlebensrate* der freien Lappen lag bei 88% (n=82). Damit konnte in 86% (n=80) der Fälle der Vorfuß erhalten und eine Amputation vermieden werden. Insgesamt waren bei 58% der freien Lappen mindestens eine *Re-Operation* auf Grund einer Komplikation notwendig. Die Überlebensrate freier Lappen in der Vorfußregion liegt damit deutlich unterhalb der allgemeinen Überlebensrate von freien Lappenplastiken, welche in etwa bei 96% liegt (Kroll et al., 1996). In der Studie von Koh et al. lag die Überlebensrate für 229 freie Lappenplastiken in der Fußregion ebenfalls bei 88%. Dabei war das Risiko für einen totalen Lappenverlust in der Fußregion etwa doppelt so groß als bei einer Rekonstruktion am Bein [OR=2,05 (p=0,046)] (Koh et al., 2018). Dies weist auf die besondere Schwierigkeit einer Rekonstruktion der Vorfußregion hin. In der Studie von Hollenbeck et al. lag bei 165 freien Lappenplastiken in der Fuß- und Knöchelregion die Lappen-Überlebensrate bei 92% (n=152) und der Fuß-Erhaltungsrate bei 93% (n=154). Dort wurde in 49% der Fälle eine sekundäre Re-Operation notwendig. Ein möglicher Grund für das etwas bessere operative Outcome bei Hollenbeck im Vergleich zu dieser Arbeit könnte das jüngere Durchschnittsalter (38 vs. 55 Jahre) und der hohe Anteil an nicht vorerkrankten Trauma-Patienten (75% vs. 32%) sein (Hollenbeck et al., 2010). Laut einer Studie von Koh et al. besteht bei Trauma-Patienten nur ein Fünftel des Risikos für totale Lappenverluste im Vergleich zu Patienten mit chronischen Ulzera (Koh et al., 2018). In der Studie von Rainer et al. lag die Lappenüberlebensrate bei der Rekonstruktion mit 77 freien Lappen in der Fußregion sogar bei 95%. Jedoch waren auch hier die Patienten im Durchschnitt jünger (35 Jahre) und meist lag ein Traum (74%) als Ursache zu Grunde. Dennoch mussten sich auch hier 54% der Patienten mindestens einer weiteren Re-Operation unterziehen (Rainer et al., 1999). Demgegenüber zeigen Studien mit freien Lappen bei Diabetischem Fußsyndrom niedriger Lappenüberlebensraten (73-93%) und Extremitätenerhaltungsraten (79-84%) (Kim et al., 2020; Lu et al., 2019; T. S. Oh et al., 2013). In einer Untersuchung über die Versorgung chronischer Wunden der unteren Extremität lag die Überlebensrate freie Lappenplastiken ebenfalls nur bei 81% (Gonzalez et al., 2002).

Die *Krankenhausaufenthaltsdauer* lag im Durchschnitt bei 23 Tagen (Fasziokutanlappen) bzw. 29 Tagen (Muskellappen), was auf die vergleichsweise hohe Anzahl an Komplikationen und

Re-Operationen zurückzuführen ist. In anderen Studien zu freien Lappenplastiken in der Fußregion lag die Dauer in etwa bei 4 Wochen, eine Ausnahme stelle die Untersuchung von Hong und Kim mit 49 Tagen dar (Hong, 2006; Hong & Kim, 2007; Pinsolle et al., 2006).

Insgesamt lag die Rate *schwerer Komplikationen* nach einer freien Lappenplastik bei 26%. In vergleichbare Studien mit Fußdefekten lag diese zwischen 18% und 32% (Menke et al., 2000; S. J. Oh et al., 2011; Rainer et al., 1999). Dabei waren Thrombosen am häufigsten die Ursache. Auffällig ist ebenfalls die hohe Rate an *leichten Komplikationen* nach einer freien Lappenplastik (41%). In einer vergleichbare Studie zu plantaren Rekonstruktionen lag die Rate mit 66% jedoch noch etwas höher (Heidekrueger et al., 2019). Maßgeblichen Einfluss auf die Komplikationsrate hat die Zusammensetzung des Patientenkollektivs, welches ein unterschiedliches Ausmaß an Risikofaktoren aufweist (Menke et al., 2000).

Eine logistische Regressionsanalyse hierzu konnte den Einfluss verschiedener *Risikofaktoren* auf die Komplikationsrate ermitteln: Infizierte Wunden mit multiresistenten Erregern (OR=65,  $p<0,001$ ) sowie das Vorliegen einer Osteomyelitis (OR=5,  $p=0,099$ ) erhöhten das Risiko für leichte Komplikationen. Letzteres ging zusätzlich mit einem erhöhten Risiko für schwere Komplikationen einher (OR=6,  $p=0,097$ ). Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Laporte et al., wobei Patienten mit Osteomyelitis ebenfalls ein signifikant höheres Risiko für Lappenverluste verzeichneten (OR=5,  $p=0,017$ ) (Laporte et al., 2019). Eine weitere Untersuchung deutet ebenfalls auf eine höhere Komplikationsrate beim Vorliegen einer Osteomyelitis hin, gleichwohl die Ergebnisse auf Grund des kleinen Kollektivs nicht signifikant waren (Gonzalez et al., 2002). Auch Las et al. konnten ein 6-fach höheres Risiko für partielle Lappenverluste bei infizierten Wunden der unteren Extremität feststellen ( $p=0,021$ ) (Las et al., 2016).

Eine Zunahme der Defektgröße führte zu einer signifikanten Steigerung des Risikos für leichte Komplikationen (OR=1,007/cm<sup>2</sup>,  $p=0,045$ ). Ähnliche Ergebnisse lieferte eine Regressionsanalyse zu Rekonstruktionen der unteren Extremität von Lee et al. Dort führten ebenfalls größere Defekte zu einer signifikanten Erhöhung des Komplikationsrisikos (OR=1,002/cm<sup>2</sup>,  $p=0,001$ ) (Lee, Abdou et al., 2020). Eine Studie von Sönmez zeigte zudem, dass große Defekte (>78 cm<sup>2</sup>) ein etwa 2,3-fach höheres Risiko für Ulzerationen aufweisen als kleinere Defekte (<78cm<sup>2</sup>) ( $p=0,065$ ) (Sönmez et al., 2003).

Raucher sowie Patienten mit pAVK zeigten zudem ein nicht signifikant höheres Risiko für leichte Komplikationen [(OR=5 (p=0,069) bzw. OR= 3 (p=0,174)]. Mehrere Autoren konnten einen signifikanten Zusammenhang zwischen arteriellem Gefäßstatus und dem Komplikationsrisiko freier Lappen am Fuß nachweisen (Kim et al., 2020; Lee, Daar et al., 2020; Piwnica-Worms et al., 2020). Eine Regressionsanalyse von Oh et al. ergab, dass Patienten mit einer peripheren arteriellen Gefäßerkrankung (OR=10, p=0,032) oder einer vorhergegangenen Angioplastie (OR=18, p<0,001) ein signifikant höheres Risiko für einen totalen Lappenverlust in der Fußregion haben (T. S. Oh et al., 2013). Laut Koh et al. waren koronare Herzerkrankungen (OR=4, p=0,001) und periphere arterielle Gefäßerkrankungen (OR=5,02, p=0,001) signifikant mit einem höheren Risiko für Lappenverlust in der unteren Extremität assoziiert (Koh et al., 2018).

Arterielle Hypertonie erhöhte das Risiko für schwere Komplikationen signifikant um den Faktor 19 (p=0,014). Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass Patienten mit arterieller Hypertonie allgemein eine Tendenz zur Hyperkoagulation auf Grund von Dysregulationen im Koagulations-/Fibrinolyse-Weg aufweisen. Folglich kommt es wegen der prothrombotischen Ausgangslage gehäuft zu vaskulären Komplikationen (Lip, 2000). Außerdem gibt es Hinweise aus Tierexperimenten, dass eine bestimmte Gruppe von Antihypertensiveren (Kalziumkanal-Blocker) die Überlebensrate freier Lappen beeinträchtigen können (Park & Mun, 2018).

Darüber hinaus war eine längere OP-Dauer häufiger mit schweren postoperativen Komplikationen assoziiert (OR=1,01/min, p=0,029). Eine Erklärung hierfür könnten erschwerte Bedingungen während der Operation wie zum Beispiel eine problematische Präparation der Empfängergefäße, die Notwendigkeit eines Interponats oder die intraoperative Revisionen einer Anastomose sein (Las et al., 2016). Zu diesem Ergebnis kommt auch die Arbeit von Las et al. und die Metaanalyse von Wong et. al., wobei eine längere OP-Dauer ebenfalls mit einem signifikant höherem Komplikationsrisiko assoziiert war (Las et al., 2016; Serletti et al., 2000; Wong et al., 2015).

Eine zweite venöse Anastomose reduzierte hingegen das Risiko für schwere Komplikationen um 92,2% (p=0,022) bzw. für leichte Komplikationen um 68,8% (p=0,085). Dies stimmt mit der Erkenntnis einiger anderer Autoren überein: Eine Analyse von 464 freien Lappen der unteren Extremität zeigte eine signifikante Reduktion der Komplikationen und Lappenverluste um 73% bzw. 69% (p=0,001/0,031), wenn eine zweite venöse Anastomose verwendet wurde

(Stranix et al., 2016). Eine weitere Untersuchung von 287 Rekonstruktionen der unteren Extremität zeigte ebenfalls eine Reduktion der Komplikationen um 61% ( $p=0,009$ ) (Stranix et al., 2018). Eine Metaanalyse zu freien Lappen konnte ebenfalls eine signifikante Reduktion von Lappenverlusten und venösen Thrombosen um 36% bzw. 34% zeigen, wenn eine zweite venöse Anastomose verwendet wurde (Ahmadi et al., 2014). Diese Beobachtung lässt sich damit begründen, dass der Fuß physiologischer Weise eine Tendenz zur venösen Stase und reduziertem venösen Rückfluss besitzt. Ein zusätzlicher Weichteildefekt, Verletzung der Lymphdrainage sowie Immobilisation erhöhen das Risiko für Abflussbehinderungen. Eine zweite venöse Anastomose verbessert hierbei den venösen Rückfluss und kann dadurch das Komplikationsrisiko bei freien Lappenrekonstruktionen senken (Stranix et al., 2018). Dies ist jedoch nur beim Vorliegen von zwei verschiedenen Empfängervenen möglich, was unter Umständen nicht immer gegeben ist. Einzelne Autoren konnten hingegen keinen signifikanten Unterschied zwischen ein oder zwei venösen Anastomosen bei der Rekonstruktion der unteren Extremität feststellen (Heidekrueger et al., 2016).

Diabetes Mellitus hingegen stellte sich, ähnlich wie auch in großen Metanalysen, nicht als unabhängiger Risikofaktor für Komplikationen heraus (Kantar et al., 2019; Wong et al., 2015). In anderen Untersuchungen zur unteren Extremität führte das Vorhandensein eines Diabetes Mellitus hingegen zu einem erhöhten Komplikationsrisiko (Koh et al., 2018; Las et al., 2016; Piwnica-Worms et al., 2020). Ebenso stellte das Patientenalter selbst kein Risikofaktor dar. Vielmehr führten die mit einem fortgeschrittenen Alter assoziierten Komorbiditäten zu einem erhöhten Komplikationsrisiko. Dies stimmt mit den Beobachtungen anderer Autoren überein (Heidekrueger et al., 2017; Lee, Daar et al., 2020; Üstün et al., 2017; Wong et al., 2015).

Darüber hinaus hatten in anderen Studien der ASA-Status, ein Nierenversagen oder die Einnahme von Immunsuppressiva einen signifikanten Einfluss auf das Komplikationsrisiko (Kim et al., 2020; Koh et al., 2018; T. S. Oh et al., 2013).

Insgesamt bestand im Langzeit-Follow-up eine große *Zufriedenheit* mit dem Rekonstruktionsergebnis mittels freier Lappenplastiken (Schulnote 1 bis 2). Dies zeigten auch Untersuchungen vergleichbarer Studien (Heidekrueger et al., 2019; Hollenbeck et al., 2010).

Obwohl keiner der verwendeten freien Lappenplastiken an einen Empfängernerv angeschlossen war, zeigte sich dennoch in der Langzeitanalyse für Fasziokutan- und Muskellappen eine ähnlich gute *Oberflächen- und Tiefensensibilität* nach mehreren Jahren. Ähnliche

Beobachtungen haben bereits andere Autoren gemacht: Ab etwa 12-24 Monaten wurde eine vergleichbare protektive Tiefensensibilität zwischen innervierten und nicht-innervierten Lappen nachgewiesen. Gleichwohl war die Oberflächensensibilität bei Faszioskutanlappen früher und stärker ausgeprägt als bei Muskellappen (Hong & Kim, 2007; Kuran et al., 2000; May et al., 1985; Potparic & Rajacic, 1997; Rainer et al., 1999; Santanelli et al., 2002; Sönmez et al., 2003). Grund hierfür ist eine sekundäre Re-Sensibilisierung durch Nervenäste aus dem Randbereich (Kuran et al., 2000; Rainer et al., 1999; Santanelli et al., 2002). Einige Autoren sind zudem der Meinung, dass taktile Innervation keine Reduktion von Komplikationen (z. B. Ulzerationen) herbeiführen kann, sodass eine erhaltene Tiefensensibilität genügt. Letztere sei vor allem bei Muskellappen stärker ausgeprägt. (Husain T., 1953; May et al., 1985; Potparic & Rajacic, 1997; Rainer et al., 1999; Santanelli et al., 2002).

Mehrere Autoren haben in den letzten Jahren versucht herauszufinden, ob freie Faszioskutan- oder Muskellappen bei der Rekonstruktion der Fußregion bzw. unteren Extremität zu bevorzugen sind. Hierbei konnten diese hinsichtlich des funktionellen Outcomes oder der Komplikationsraten keine signifikanten Unterschiede feststellen (Cho et al., 2018; Paro et al., 2016; Potparic & Rajacic, 1997; Rodriguez et al., 2009).

Im Folgenden sollen die wesentlichen Vor- und Nachteile von Faszioskutan- und Muskellappen aus dieser Arbeit diskutiert werden. Auch wenn hierbei einige Unterschiede auf Grund der geringen Fallzahl nicht statistisch signifikant ( $p > 0,05$ ) sind, sind sie dennoch als klinisch relevant zu berücksichtigen.

### 5.3.3.2 Muskellappen

Bei der Gegenüberstellung der Freien Lappen stellt sich der Muskellappen als weniger risikobehaftete Rekonstruktionsmethode dar, da es hierbei seltener zu *schweren Komplikationen* kam als bei Faszioskutanlappen [20% vs. 33% ( $p=0,17$ )]. Eine durchgeführte Regressionsanalyse ergab für Muskellappen ein 4-faches geringes Risiko für schwere Komplikation ( $p=0,037$ ). Außerdem kam es seltener zu *totalen Lappenverlusten* [8% vs. 16% ( $p=0,22$ )]. Vergleichbare Ergebnisse zeigt eine Studie von Heidekrueger et al. mit 100 freien Lappenrekonstruktionen der Fußsohle. Hier kam es bei den Muskellappen ebenfalls seltener zu schweren Komplikationen als bei Faszioskutanlappen [17% vs. 24% ( $p=0,27$ )]. Die Rate totaler

Lappenverluste lag ebenfalls bei freien Muskellappen unterhalb der von freien Faszioskutanlappen [6% vs. 13% ( $p=0,19$ )] (Heidekrueger et al., 2019). Eine weitere Studie mit 158 freien Lappen zur Rekonstruktion der unteren Extremität unterstreicht die Überlegenheit von freien Muskellappen. Dort wiesen freie Muskellappen ebenfalls eine signifikant niedrigere Rate von totalen Lappenverlusten auf als Faszioskutanlappen [5% vs. 17% ( $p<0,01$ )] (Al-Benna et al., 2010).

In anderen Studien ohne Vergleichsgruppe lag die totale Lappenverlustrate für Muskellappen in der Fußregion zwischen 0% und 17% (Harris et al., 1994; May et al., 1985; Osiogo et al., 2006; Uluçay et al., 2006).

Vor allem bei *plantarer Rekonstruktion* kam es beim Muskellappen signifikant seltener zu schweren Komplikationen [9% vs. 57% ( $p=0,026$ )], weshalb dieser bei Rekonstruktionen der druckbelasteten Fußsohle vorzuziehen ist. Grund hierfür ist, dass Muskellappen meist robuster und dicker sind, sodass sie den Druck- und Scherkräften besser standhalten können. Dies deckt sich mit den Ergebnissen vieler anderer Autoren (Harris et al., 1994; Haug et al., 2008; Menke et al., 2000; Rainer et al., 1999). In der Studie von Rainer et al. kam es nach plantaren Rekonstruktion bei 60% der freien Faszioskutanlappen und nur bei 27% der Muskellappen zu Ulzerationen. (Rainer et al., 1999) Die retrospektivische Analyse von 28 freien Lappen am Fußballen von Hollenbeck et al. zeigte ebenfalls geringere Ulzervationsrate bei Muskellappen, weshalb er diese für die plantare Rekonstruktion empfiehlt (Hollenbeck et al., 2010). Eine mögliche Erklärung für die geringere Rate an Ulzerationen bei Muskellappen zur Rekonstruktion der Fußsohle ist laut May et al. die Kombination aus zwei unabhängigen Gewebeschichten (Muskel und Spalthaut), welche resistent gegen tangentialen Schwerkraften ist (May et al., 1985). Demgegenüber konnte in der Untersuchung von Potparic kein signifikanter Unterschied zwischen Faszioskutan- und Muskellappen bei der plantaren Rekonstruktion gefunden werden (Potparic & Rajacic, 1997). Einzelne Arbeiten wie beispielsweise von Sönmez et al. zeigen hingegen eine Überlegenheit des Faszioskutanlappens bei der plantaren Rekonstruktion. Dort kam es bei Muskellappen signifikant häufiger zu Ulzerationen als bei Faszioskutanlappen (73% vs. 22%), wobei in keinem Fall eine Re-Operation notwendig war. Ein Grund hierfür könnte sein, dass Muskellappen durch ihre Dicke stärker aufragen, sodass beim Gehen leichter Druckstellen entstehen. Zudem war die durchschnittliche Defektgröße in der Gruppe der Muskellappen nicht-signifikant größer als bei

Fasziokutanlappen, welches einen Einfluss auf die Komplikationsrate haben könnte. (Hong & Kim, 2007; Sönmez et al., 2003)

Lag eine *infizierte Wunde* vor, so kam es bei freien Muskellappen signifikant seltener zu schweren Komplikationen als bei Fasziokutanlappen [8% vs. 80% ( $p=0,003$ )]. Dies entspricht der langjährigen Erkenntnis, dass Muskellappen auf Grund der starken Durchblutung des Muskels eine antiinfektive Wirkung im Empfängergebiet erzielen können (Gosain et al., 1990). Dies zeigte zum Beispiel eine Studie von Al-Benna et al. über Rekonstruktionen der unteren Extremität mit freien Lappen. Dort kam es nach einer offenen Fraktur bei 9% Muskellappen und 14% der Fasziokutanlappen zu einer Osteomyelitis (Al-Benna et al., 2010). Gleichwohl zeigen mittlerweile neuere Studien, dass auch mit Fasziokutanlappen erfolgreich infizierte Wunden versorgt werden können (Hong, 2006; Kovar et al., 2020). Eine Metaanalyse von Kovar et al. konnte beispielsweise bei Patienten mit Osteomyelitis in der unteren Extremität keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Wiederauftretens von Osteomyelitis zwischen Fasziokutan- und Muskellappen feststellen [4,3% vs. 7,8% ( $p=0,17$ )] (Kovar et al., 2020).

Lag eine *Verbrennungen* als Ursache für den Weichteildefekt zu Grunde, so kam es bei Muskellappen ebenfalls signifikant seltener zu einer schweren Komplikation als bei Fasziokutanlappen ( $p=0,018$ ). In Übereinstimmung mit anderen Autoren werden Muskellappen bevorzugt zur Rekonstruktion von ausgedehnten Brandverletzungen eingesetzt werden. Eine mögliche Erklärung hierfür ist die bessere Durchblutung des Muskellappens, welche die Wundheilung verbessert und das Infektionsrisiko reduzieren kann (Heller & Levin, 2001; Ofer et al., 2007; Platt et al., 1996).

In diesen genannten Fällen ist daher stets eine Rekonstruktion mit einem Muskellappen anzustreben. Ebenso sollte bei Patienten mit einem hohen perioperativen Risiko der Muskellappen bevorzugt werden, um größere Re-Operationen nach einer vorausgegangenen schweren Komplikation zu vermeiden.

Ein Nachteil der Muskellappen ist, dass es häufiger zu *leichten Komplikationen* (partieller Lappenverlust, Spalthautnekrosen) kam als bei Fasziokutanlappen [48% vs. 33% ( $p=0,13$ )], sodass in der Summe etwas häufiger *Re-Operationen* notwendig waren (62% vs. 53%). Ähnlich hoch lag die Rate in einer Untersuchung von Harris et al., wo es bei 42% der freien Muskellappen an der Fußsohle zu leichten Komplikationen wie Ulzerationen und

Wundheilungsstörungen kam (Harris et al., 1994). In einer vergleichbaren Studie von Heidekrueger et al. lag ebenfalls die Rate an leichten Komplikationen bei freien Muskellappen über der von Fasziojukanlappen [70% vs. 61% ( $p=0,32$ )] (Heidekrueger et al., 2019). Ein Grund hierfür könnte sein, dass Muskellappen durch ihre Dicke stärker aufragen, sodass beim Gehen leichter Druckstellen entstehen (Harris et al., 1994; Sönmez et al., 2003). In einer anderen Studie kam es hingegen bei freien Muskellappen auf Grund der höheren Widerstandsfähigkeit signifikant seltener zu komplikationsbedingten Re-Operationen als beim freien Fasziojukanlappen [37% vs. 49% ( $p<0,01$ )] (Al-Benna et al., 2010).

### 5.3.3.3 Fasziojukanlappen

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass sich freie Fasziojukanlappen gegenüber Muskellappen tendenziell durch eine bessere Funktionalität, Ästhetik und Rückgewinnung an Lebensqualität auszeichnen.

So litten zum Nachuntersuchungszeitpunkt Patienten mit einem Fasziojukanlappen seltener unter *funktionellen Einschränkungen* im Alltag als Patienten mit einem Muskellappen [38% vs. 69% ( $p=0,10$ )]. Dieser Unterschied war in der Gruppe der Trauma-Patienten signifikant [25% vs. 67% ( $p=0,086$ )]. Grund hierfür ist unter anderem, dass Patienten in dieser Gruppe mit einem Fasziojukanlappen im Durchschnitt keine Bewegungseinschränkungen im Vergleich zu Patienten mit einem Muskellappen aufwiesen [ $0^\circ$  vs.  $20^\circ$  ( $p=0,09$ )].

Besonders bei *dorsaler Rekonstruktion* zeigte sich der Fasziojukanlappen gegenüber dem Muskellappen überlegen, da Patienten mit einem Fasziojukanlappen in der Folge seltener unter funktionellen Einschränkungen im Alltag litten [38% vs. 78% ( $p=0,092$ )]. Auch wenn dieser Unterschied auf Grund der geringen Fallzahl statistisch nicht signifikant war, so bestand dennoch ein klinisch relevanter Unterschied zu Gunsten des Fasziojukanlappens. Ein Grund hierfür ist, dass Fasziojukanlappen in der Regel dünner und durch ihre subkutane Fettschicht flexibler sind als Muskellappen. Dies ermöglichte häufiger einen uneingeschränkten Gang mit normalem *Schuhwerk* (Hollenbeck et al., 2010; Hong, 2006; Rainer et al., 1999). Außerdem bieten sie eine exzellente Gleitschicht für daruntergelegene Sehnen (Saint-Cyr et al., 2012). In dieser Arbeit gaben 54% der Patienten mit Fasziojukanlappen an, normales Schuhwerk tragen zu können, in der Gruppe der freien Muskellappen waren es hingegen nur 24%. Ähnliche

Ergebnisse zeigen vergleichbare Studie, in welchen Patienten mit Fasziojukanlappen signifikant häufiger normales Schuhwerk tragen konnten als Patienten mit Muskellappen (L. Chen et al., 2020; Heidekrueger et al., 2019; Sönmez et al., 2003).

Darüber hinaus besteht insbesondere für die Rekonstruktion des Fußrückens ein hoher *ästhetischer Anspruch*. Vor allem in der Gruppe der Trauma-Patienten konnten mit Fasziojukanlappen eine signifikant bessere Narbenheilung am Fuß erreicht werden ( $p < 0,01$ ). Ähnliche Ergebnisse zeigen Untersuchungen anderer Arbeiten (Heidekrueger et al., 2019; Hollenbeck et al., 2010). Muskellappen tendieren häufig zu hypertrophen Narben welche folglich ein schlechteres ästhetisches und funktionelles Outcome haben (Harris et al., 1994).

In Übereinstimmung der Ergebnissen aus dieser Arbeit mit denen vieler weiterer Autoren wird daher eine Rekonstruktion des dorsalen Vorfußes mit einem Fasziojukanlappen empfohlen (Hollenbeck et al., 2010; Rainer et al., 1999).

Zudem konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, dass Patienten mit einem Fasziojukanlappen innerhalb des Nachuntersuchungszeitraums tendenziell seltener an *Schmerzen* in der Spender-/Empfängerregion leiden als mit einem Muskellappen [31% vs. 50% ( $p = 0,14$ )]. In der Gruppe der Trauma-Patienten war dieser Unterschied signifikant ( $p = 0,049$ ). Zu diesem Ergebnis kam auch andere Studie zu Fußrekonstruktionen, in welcher der Fasziojukanlappen signifikant seltener zu persistierenden Schmerzen führte. (Heidekrueger et al., 2019; Sönmez et al., 2003)

Somit kann mit Fasziojukanlappen tendenziell ein besseres funktionelles Langzeit-Outcome erreicht werden. Vor allem bei Trauma-Patienten bzw. dorsaler Defektlokalisierung ist eine Rekonstruktion mit einem Fasziojukanlappen in Erwägung zu ziehen.

Gleichwohl sollte bei Patienten mit einem hohen perioperativen Risiko hiervon abgeraten werden, da das Risiko für schweren Komplikationen signifikant höher war als bei Muskellappen, sodass risikoreichere Re-Operationen notwendig waren.

#### 5.3.3.4 Limitationen freier Lappenplastiken

Die Rekonstruktion eines Weichteildefekts mittels freier Lappen stellt für die meisten Patienten eine effektive Therapiemöglichkeit als Alternative zu einer radikalen Vorfußamputation dar (Rainer et al., 1999; Rodriguez et al., 2009).

Gleichzeitig zeigte jedoch diese Arbeit, dass eine Rekonstruktion mit freien Lappenplastiken nicht selten komplikationsbehaftet ist: Häufig kam es leichten (40,9%) oder schweren (25,8%) Komplikationen, in 11,8% der Fälle sogar zu einem totalen Lappenverlust. In der Folge musste mindestens jeder zweite Patient erneut am Vorfuß operiert werden (58,1%). Dies führte im Durchschnitt zu langen Krankenhausaufenthalten von 28 Tagen, im längsten Fall sogar bis zu 85 Tagen.

Auf Grund der kritischen Perfusion stellen Patienten mit diabetischem Fußsyndrom oder peripherer arterieller Verschlusskrankheit ein besonders schwieriges Klientel für freie Lappenrekonstruktionen dar (Hollenbeck et al., 2010). Dort liegt die Extremitätenerhaltungsrate selbst nach Revaskularisation lediglich bei etwa 71-83% (Ciresi et al., 1993; Hollenbeck et al., 2010; Moucharafieh et al., 2003; Ozkan et al., 2005; Serletti et al., 1995). Aus diesem Grund empfiehlt Hollenbeck et al. bei multimorbiden Patienten mit vaskulärer Insuffizienz eher auf eine lokale Lappenplastik zurückzugreifen (Hollenbeck et al., 2010).

Auch wenn die meisten Patienten sehr zufrieden mit dem Rekonstruktionsergebnis sind, bestehen dennoch bei 57% funktionelle Einschränkungen bei der Erledigung alltäglichen Aufgaben. Zudem litten 41% der Patienten selbst viele Jahre nach der OP noch an persistierenden Schmerzen an der Entnahme- oder Empfängerstelle. Vor allem bei Patienten mit schweren Begleiterkrankungen ist es schwierig, eine adäquate Wiederherstellung der Funktionalität zu erreichen. Eine Metaanalyse von 1079 multimorbiden Patienten, welche eine Rekonstruktion der unteren Extremität mit freien Lappenplastiken erhalten haben, konnten nur 77%, danach wieder normal gehen. (Economides et al., 2013)

Aus diesem Grund verglich ein Artikel aus dem *New English Journal of Medicine* in einer prospektiven multizentrischen Studie das funktionelle Outcome von 569 Patienten mit schweren Weichteilverletzungen der unteren Extremität, welche entweder eine Amputation oder Rekonstruktion erhielten. Dabei konnte in beiden Gruppen dasselbe funktionelle Outcome

festgestellt werden, wobei Patienten mit einer Rekonstruktion signifikant häufiger komplikationsbedingte Re-Hospitalisierungen zeigten ( $p=0,002$ ). Aus beiden Gruppen konnten lediglich die Hälfte der Patienten wieder ihre Arbeitstätigkeit aufnehmen. (Bosse et al., 2002)

Obwohl die Studie von Oh et al. zeigt, dass die 5-Jahres-Überlebensrate bei Diabetikern mit einer Rekonstruktion im Vergleich zu einer Amputation signifikant höher war (87% vs. 41%) (T. S. Oh et al., 2013), waren in dieser Arbeit innerhalb des Nachbeobachtungszeitraums (Median 7, Max. 11 Jahre) bereits 21% der über 60-jährigen bzw. ein Drittel der Patienten mit einer koronaren Herzerkrankung verstorben.

Hoffnung macht jedoch eine Studie von Gibbons et al., welche zeigen konnte, dass sich durch technischen Fortschritt zwischen 1984 und 1990 die Versorgung ischämischen Weichteildefekten des Fußes drastisch verbessert hat und auch bei Risikopatienten eine erfolgreiche Rekonstruktionen ermöglicht (Gibbons et al., 1993).

Dabei konnte vor allem auch die präoperative CT-Angiographie das Risiko für partielle und totale Lappenverluste signifikant reduzieren (Teunis et al., 2013; Wade et al., 2018). Ein weiteres hilfreiches Verfahren zur Sicherstellung einer adäquaten Perfusion ist die intraoperative Fluoreszenz-Angiographie (Bigdeli et al., 2016) sowie die postoperative Nahinfrarotspektroskopie (Y. Chen et al., 2016), welche ebenfalls Lappenverluste signifikant reduziert.

Letztlich stellt die Nachsorge einen entscheidenden Faktor für eine langfristig erfolgreiche Rekonstruktion dar. Um Rezidive zu vermeiden und Wundheilungsstörungen rechtzeitig zu erkennen ist es wichtig den Patienten hinreichend über postoperativen Maßnahmen zu informieren, die Compliance zu überprüfen und regelmäßige ambulante Kontrollen durchzuführen. (May et al., 1985)

Ein Zitat von Sommerlad und McGrouther besagt, dass letztlich der einzige limitierende Faktor für eine erfolgreiche Rekonstruktion die postoperative Sorgfalt des Patienten ist:

*“A vital ingredient of success [...] is the intelligence and motivation of the patient: Whatever the replacement, its preservation will depend on the continued care of the foot.” (Sommerlad & McGrouther, 1978)*

## 5.4 Ausblick

Durch die Forschung und den medizinischen Fortschritt in den letzten Jahren, konnte das Outcome plastischer Rekonstruktionen stetig verbessert werden. Dennoch stellt die Rekonstruktion der Vorfußregion eine hohe Herausforderung dar, welches an der durchwegs hohen Komplikationsrate zu erkennen ist. Ziel ist es, in Zukunft Komplikationen reduzieren zu können und das funktionelle Outcome weiter zu verbessern.

Auf Grund der noch zu geringen Fallzahl sind hierzu weitere Studien nötig. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass es für die Weichteilrekonstruktion des Vorfußes nicht eine einzige überlegene Rekonstruktionstechnik existiert. Stattdessen haben eine Vielzahl von unterschiedlicher Faktoren Einfluss auf das operative, funktionelle und ästhetische Outcome. In weiteren Studien gilt es daher, insbesondere auf die unterschiedlichen Einflussfaktoren (Patienten-/Defekteigenschaften) einzugehen, um für den individuellen Patienten die bestmögliche Rekonstruktionstechnik zu wählen.

## 6 Zusammenfassung

Die Rekonstruktion des einzigartigen Weichteilmantels der Vorfußregion stellt seit jeher eine große Herausforderung in der rekonstruktiven Chirurgie dar. Denn hierbei gilt es ein Höchstmaß an Funktionalität zu gewährleisten, bei gleichzeitig ausreichender Widerstandsfähigkeit gegenüber Druck- und Scherkräften.

Ziel dieser Arbeit war es, einen Behandlungsalgorithmus für die Rekonstruktion komplexer Weichteildefekte des Vorfußes zu etablieren. Hierfür wurden verschiedene Rekonstruktionstechniken (Hauttransplantate, lokoregionale Lappen, freie Lappen) hinsichtlich des operativen, funktionellen und ästhetischen Outcomes verglichen, wobei ein besonderes Augenmerk auf dem Unterschied zwischen freiem Faszioskutan- und Muskellappen lag.

Hierzu wurden 133 Vorfußrekonstruktionen zwischen 2008 und 2019 aus der Klinik für Plastische Chirurgie, Handchirurgie und Verbrennungsmedizin der München Klinik Bogenhausen bzw. der Klinik und Poliklinik für Plastische Chirurgie und Handchirurgie des Klinikums Rechts der Isar analysiert. Retrospektiv wurden u. a. Alter, Geschlecht, Ätiologie, Risikofaktoren, Defektgröße/-lokalisation, OP-Dauer, Krankenhaustage sowie Komplikationen erfasst. 36 Patienten (30,3%) konnten in einem Langzeit-Follow-up untersucht werden (13 Faszioskutanlappen, 17 Muskellappen, 3 lokoregionale Lappen, 3 Hauttransplantate). Dabei wurden neben funktionellen Untersuchungen (Beweglichkeit, Sensibilität, Kraft) auch die subjektive Zufriedenheit, Schmerzen sowie funktionelle Einschränkungen im Alltag anhand eines Fragebogens erfasst.

Hauttransplantate konnten häufig der mechanischen Belastung der Vorfußregion nicht standhalten, sodass in 17% der Fälle eine sekundäre Vorfußamputation notwendig war. Lokale Lappenplastiken zeichneten sich durch eine niedrige Rate an schweren Komplikationen (9%), einem geringen ROM-Defizit ( $5^\circ$ ) sowie keinen funktionellen Einschränkungen im Alltag aus. Beim Vergleich der freien Lappenplastiken kam es bei Muskellappen signifikant seltener zu schweren Komplikationen als bei Faszioskutanlappen [20% vs. 22% ( $p=0,037$ )], insbesondere bei plantaren Rekonstruktionen [9% vs. 57% ( $p=0,026$ )], Verbrennungen [0% vs. 60% ( $p=0,018$ )] und Infektionen [8% vs. 80% ( $p=0,003$ )]. Demgegenüber konnte bei Faszioskutanlappen eine nicht-signifikant bessere Funktionalität und Ästhetik als bei Muskellappen erzielt werden. So konnten sie häufiger normales Schuhwerk tragen [54% vs.

24% (p=0,11)], verzeichneten ein geringeres ROM-Defizit [0° vs. 20° (p=0,09)] und litten allgemein seltener unter funktionellen Einschränkungen im Alltag [38% vs. 69% (p=0,10)], insbesondere bei dorsaler Rekonstruktion [38% vs. 78% (p=0,09)] bzw. nach einem Trauma [25% vs. 67% (p=0,09)].

Auf Grund der noch zu geringen Fallzahl, sind weitere Studien hinsichtlich des operativen, funktionellen und ästhetischen Outcomes unter Berücksichtigung der individuellen Patienten- und Defekteigenschaften nötig.

## 7 Literaturverzeichnis

- Abdelfattah, U., Power, H. A., Song, S., Min, K., Suh, H. P. & Hong, J. P. (2019). Algorithm for Free Perforator Flap Selection in Lower Extremity Reconstruction Based on 563 Cases. *Plastic and reconstructive surgery*, *144*(5), 1202–1213. <https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000006167>
- Al-Benna, S., Langer, S., Steinau, H. U. & Steinstraesser, L. (2010). Clinical outcome comparison between free myocutaneous latissimus dorsi and free fasciocutaneous anterolateral thigh flaps for soft tissue reconstruction of lower extremity traumatic open tibial fractures. *Plastic and reconstructive surgery*, *125*(Supplement), 27. <https://doi.org/10.1097/01.prs.0000371764.52891.27>
- Althoff, T., Sosič, R., Hicks, J. L., King, A. C., Delp, S. L. & Leskovec, J. (2017). Large-scale physical activity data reveal worldwide activity inequality. *Nature*, *547*(7663), 336–339. <https://doi.org/10.1038/nature23018>
- Altman, D. G. & Bland, J. M. (1995). Absence of evidence is not evidence of absence. *BMJ (Clinical research ed.)*, *311*(7003), 485. <https://doi.org/10.1136/bmj.311.7003.485>
- Bajantri, B., Bharathi, R. R. & Sabapathy, S. R. (2012). Wound coverage considerations for defects of the lower third of the leg. *Indian Journal of Plastic Surgery*, *45*(2), 283–290. <https://doi.org/10.4103/0970-0358.101299>
- Baker, G. L., Newton, E. D. & Franklin, J. D. (1990). Fasciocutaneous island flap based on the medial plantar artery: clinical applications for leg, ankle, and forefoot. *Plastic and reconstructive surgery*, *85*(1), 47-58; discussion 59-60. <https://doi.org/10.1097/00006534-199001000-00009>
- Baryza, M. J. & Baryza, G. A. (1995). The Vancouver Scar Scale: an administration tool and its interrater reliability. *The Journal of Burn Care & Rehabilitation*, *16*(5), 535–538. <https://doi.org/10.1097/00004630-199509000-00013>
- Bell-Krotoski, J., Weinstein, S. & Weinstein, C. (1993). Testing Sensibility, Including Touch-Pressure, Two-point Discrimination, Point Localization, and Vibration. *Journal of hand therapy : official journal of the American Society of Hand Therapists*, *6*(2), 114–123. [https://doi.org/10.1016/s0894-1130\(12\)80292-4](https://doi.org/10.1016/s0894-1130(12)80292-4)
- Berger, A [Alfred] (Hrsg.). (2009). *Springer-Lehrbuch: Bd. 4. Plastische Chirurgie. Extremitäten // Plastische Chirurgie: Mit 417 Abbildungen und 173 Tabellen*. Springer.
- Berger, A [Alfred] & Hierner, R. (Hrsg.). (2003). *Plastische Chirurgie. Band 1. Grundlagen, Prinzipien, Techniken: Plastische Chirurgie. Band 1. Grundlagen, Prinzipien, Techniken*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-55886-3>
- Bhat, S., Shah, A. & Burd, A. (2009). The role of freestyle perforator-based pedicled flaps in reconstruction of delayed traumatic defects. *Annals of plastic surgery*, *63*(1), 45–52. <https://doi.org/10.1097/SAP.0b013e318189383d>
- Biemer, E. (2002). Kommentar: Perforans-Lappenplastiken [A comment on perforator flaps]. *Handchirurgie · Mikrochirurgie · Plastische Chirurgie*, *34*(4), 262–263. <https://doi.org/10.1055/s-2002-36294>

- Bigdeli, A. K., Gazyakan, E., Schmidt, V. J., Hernekamp, F. J., Harhaus, L., Henzler, T., Kremer, T., Kneser, U. & Hirche, C. (2016). Indocyanine Green Fluorescence for Free-Flap Perfusion Imaging Revisited: Advanced Decision Making by Virtual Perfusion Reality in Visionsense Fusion Imaging Angiography. *Surgical innovation*, 23(3), 249–260. <https://doi.org/10.1177/1553350615610651>
- Bordianu, A., Bobircă, F. & Pătrașcu, T. (2018). Skin Grafting in the Treatment of Diabetic Foot Soft Tissue Defects. *Chirurgia (Bucharest, Romania : 1990)*, 113(5), 644–650. <https://doi.org/10.21614/chirurgia.113.5.644>
- Bosse, M. J., MacKenzie, E. J., Kellam, J. F., Burgess, A. R [Andrew R.], Webb, L. X., Swiontkowski, M. F., Sanders, R. W., Jones, A. L., McAndrew, M. P., Patterson, B. M., McCarthy, M. L., Trivison, T. G. & Castillo, R. C. (2002). An analysis of outcomes of reconstruction or amputation after leg-threatening injuries. *The New England journal of medicine*, 347(24), 1924–1931. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa012604>
- Bostwick, J., Nahai, F., Wallace, J. G. & Vasconez, L. O. (1979). Sixty latissimus dorsi flaps. *Plastic and reconstructive surgery*, 63(1), 31–41. <https://doi.org/10.1097/00006534-197901000-00006>
- Brown, J. B. & McDowell, F. (1942). Epithelial healing and the transplantation of skin. *Annals of surgery*, 115(6), 1166–1181. <https://doi.org/10.1097/00000658-194206000-00027>
- Brown, J. J., Pribesh, S. L., Baskette, K. G., Vinik, A. I. & Colberg, S. R. (2017). A Comparison of Screening Tools for the Early Detection of Peripheral Neuropathy in Adults with and without Type 2 Diabetes. *Journal of Diabetes Research*, 2017, 1467213. <https://doi.org/10.1155/2017/1467213>
- Buchanan, P. J., Kung, T. A. & Cederna, P. S. (2016). Evidence-Based Medicine: Wound Closure. *Plastic and reconstructive surgery*, 138(3 Suppl), 257S-70S. <https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000002775>
- Campia, U., Gerhard-Herman, M., Piazza, G. & Goldhaber, S. Z. (2019). Peripheral Artery Disease: Past, Present, and Future. *The American journal of medicine*, 132(10), 1133–1141. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2019.04.043>
- Chang, L. D., Buncke, G., Slezak, S. & Buncke, H. J. (1996). Cigarette smoking, plastic surgery, and microsurgery. *Journal of Reconstructive Microsurgery*, 12(7), 467–474. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1006620>
- Chen, Y., Shen, Z., Shao, Z., Yu, P. & Wu, J. (2016). Free Flap Monitoring Using Near-Infrared Spectroscopy: A Systemic Review. *Annals of plastic surgery*, 76(5), 590–597. <https://doi.org/10.1097/SAP.0000000000000430>
- Cho, E. H., Shammas, R. L., Carney, M. J., Weissler, J. M., Bauder, A. R., Glener, A. D., Kovach, S. J., Hollenbeck, S. T. & Levin, L. S [L. Scott] (2018). Muscle versus Fasciocutaneous Free Flaps in Lower Extremity Traumatic Reconstruction: A Multicenter Outcomes Analysis. *Plastic and reconstructive surgery*, 141(1), 191–199. <https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000003927>
- Ciresi, K. F., Anthony, J. P., Hoffman, W. Y., Bowersox, J. C., Reilly, L. M. & Rapp, J. H. (1993). Limb salvage and wound coverage in patients with large ischemic ulcers: A

- multidisciplinary approach with revascularization and free tissue transfer. *Journal of Vascular Surgery*, 18(4), 648–655. [https://doi.org/10.1016/0741-5214\(93\)90074-V](https://doi.org/10.1016/0741-5214(93)90074-V)
- Clark, N. & Sherman, R. (1993). Soft-Tissue Reconstruction of the Foot and Ankle. *Orthopedic Clinics of North America*, 24(3), 489–503. [https://doi.org/10.1016/S0030-5898\(20\)31823-X](https://doi.org/10.1016/S0030-5898(20)31823-X)
- Criqui, M. H. & Aboyans, V. (2015). Epidemiology of peripheral artery disease. *Circulation research*, 116(9), 1509–1526. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.116.303849>
- Economides, J. M., Patel, K. M., Evans, K. K [Karen Kim], Marshall, E. & Attinger, C. E. (2013). Systematic review of patient-centered outcomes following lower extremity flap reconstruction in comorbid patients. *Journal of Reconstructive Microsurgery*, 29(5), 307–316. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1333624>
- Elgzyri, T., Larsson, J., Thörne, J., Eriksson, K.-F. & Apelqvist, J. (2013). Outcome of ischemic foot ulcer in diabetic patients who had no invasive vascular intervention. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 46(1), 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2013.04.013>
- El-Sabbagh, A. H. (2018). Non-microsurgical skin flaps for reconstruction of difficult wounds in distal leg and foot. *Chinese journal of traumatology = Zhonghua chuang shang za zhi*, 21(4), 197–205. <https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2017.08.009>
- Engel, H., Lin, C.-H. & Wei, F.-C. (2011). Role of microsurgery in lower extremity reconstruction. *Plastic and reconstructive surgery*, 127 Suppl 1, 228S-238S. <https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e3182008e12>
- Ethikkommission der Technischen Universität München. (2020). *eTIC (electronic Tool for the compilation of Informed Consent documents)* (Version 1.0) [Computer software]. Ethikkommission der Technischen Universität München.
- Fernández, P. J., Mongle, C. S., Leakey, L., Proctor, D. J., Orr, C. M., Patel, B. A., Almécija, S., Tocheri, M. W. & Jungers, W. L. (2018). Evolution and function of the hominin forefoot. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(35), 8746–8751. <https://doi.org/10.1073/pnas.1800818115>
- Forsythe, R. O., Brownrigg, J. & Hinchliffe, R. J. (2015). Peripheral arterial disease and revascularization of the diabetic foot. *Diabetes, obesity & metabolism*, 17(5), 435–444. <https://doi.org/10.1111/dom.12422>
- Geddes, C. R., Morris, S. F. & Neligan, P. C. (2003). Perforator flaps: evolution, classification, and applications. *Annals of plastic surgery*, 50(1), 90–99. <https://doi.org/10.1097/00000637-200301000-00016>
- GENESIS-Online. (2021). *Anzahl an Patienten mit Verletzungen, Verbrennungen, Verätzungen d. Knöchelregion u. d. Fußes (2019)*.
- Gibbons, G. W., Marcaccio, E. J., Burgess, A. M., Pomposelli, F. B., Freeman, D. V., Campbell, D. R., Miller, A. & LoGerfo, F. W. (1993). Improved quality of diabetic foot care, 1984 vs 1990. Reduced length of stay and costs, insufficient reimbursement. *Archives of Surgery*, 128(5), 576–581. <https://doi.org/10.1001/archsurg.1993.01420170112017>

- Godina, M. (1986). Early microsurgical reconstruction of complex trauma of the extremities. *Plastic and reconstructive surgery*, 78(3), 285–292. <https://doi.org/10.1097/00006534-198609000-00001>
- Gosain, A., Chang, N., Mathes, S., Hunt, T. K. & Vasconez, L. (1990). A study of the relationship between blood flow and bacterial inoculation in musculocutaneous and fasciocutaneous flaps. *Plastic and reconstructive surgery*, 86(6), 1152-62; discussion 1163.
- Gottlieb, L. J. & Krieger, L. M. (1994). From the Reconstructive Ladder to the Reconstructive Elevator. *Plastic and reconstructive surgery*, 93(7), 1503. <https://doi.org/10.1097/00006534-199406000-00027>
- Greenhalgh, D. G. (2019). Management of Burns. *The New England journal of medicine*, 380(24), 2349–2359. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1807442>
- Guzman-Stein, G., Fix, R. J. & Vasconez, L. O. (1991). Muscle flap coverage for the lower extremity. *Clinics in plastic surgery*, 18(3), 545–552. <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.emedien.uni-muenchen.de/1889164/>
- Hallock, G. G. (2013). Evidence-based medicine: lower extremity acute trauma. *Plastic and reconstructive surgery*, 132(6), 1733–1741. <https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e3182a80925>
- Hallock, G. G. & Morris, S. F. (2011). Skin grafts and local flaps. *Plastic and reconstructive surgery*, 127(1), 5e-22e. <https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e3181fad46c>
- Hamdi, M., van Landuyt, K., Monstrey, S. & Blondeel, P. (2004). Pedicled perforator flaps in breast reconstruction: a new concept. *British journal of plastic surgery*, 57(6), 531–539. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2004.04.015>
- Hanewinkel, R., van Oijen, M., Ikram, M. A. & van Doorn, P. A [Pieter A.] (2016). The epidemiology and risk factors of chronic polyneuropathy. *European journal of epidemiology*, 31(1), 5–20. <https://doi.org/10.1007/s10654-015-0094-6>
- Harris, P. G., Letrosne, E., Caouette-Laberge, L. & Egerszegi, E. P. (1994). Long-term follow-up of coverage of weight bearing surface of the foot with free muscular flap in a pediatric population. *Microsurgery*, 15(6), 424–429. <https://doi.org/10.1002/micr.1920150611>
- Haug, M. D., Valderrabano, V., Rieger, U. M., Pierer, G [G.] & Schaefer, D. J. (2008). Ein Behandlungsalgorithmus zur Weichteilrekonstruktion am Fuss und Sprunggelenk unter Berücksichtigung anatomischer und biomechanischer Gesichtspunkte [Anatomically and biomechanically based treatment algorithm for foot and ankle soft tissue reconstruction]. *Handchirurgie · Mikrochirurgie · Plastische Chirurgie*, 40(6), 377–385. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1039186>
- Hawker, G. A., Mian, S., Kendzerska, T. & French, M. (2011). Measures of adult pain: Visual Analog Scale for Pain (VAS Pain), Numeric Rating Scale for Pain (NRS Pain), McGill Pain Questionnaire (MPQ), Short-Form McGill Pain Questionnaire (SF-MPQ), Chronic Pain Grade Scale (CPGS), Short Form-36 Bodily Pain Scale (SF-36 BPS), and Measure of Intermittent and Constant Osteoarthritis Pain (ICOAP). *Arthritis Care & Research*, 63 Suppl 11(S11), S240-52. <https://doi.org/10.1002/acr.20543>
- Heidekrueger, P. I., Ehrh, D., Prantl, L., Thiha, A., Weinschenk, F., Forte, A. J., Ninkovic, M. & Broer, P. N. (2019). Microsurgical Reconstruction of the Plantar Foot: Long-Term

- Functional Outcomes and Quality of Life. *Journal of reconstructive microsurgery*, 35(5), 379–388. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1677038>
- Heitmann, C. & Levin, L. S [L. Scott] (2003). The orthoplastic approach for management of the severely traumatized foot and ankle. *The Journal of trauma*, 54(2), 379–390. <https://doi.org/10.1097/01.TA.0000028859.26504.7C>
- Heller, L. & Levin, L. S [L. S.] (2001). Lower extremity microsurgical reconstruction. *Plastic and reconstructive surgery*, 108(4), 1029-41; quiz 1042. <https://doi.org/10.1097/00006534-200109150-00036>
- Hitman, G. A. (2012). The tuning fork and the at-risk foot. *Diabetic Medicine*, 29(12), 1477. <https://doi.org/10.1111/dme.12043>
- Hollenbeck, S. T., Woo, S., Komatsu, I., Erdmann, D [Detlev], Zenn, M. R. & Levin, L. S [L. Scott] (2010). Longitudinal outcomes and application of the subunit principle to 165 foot and ankle free tissue transfers. *Plastic and reconstructive surgery*, 125(3), 924–934. <https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e3181cc9630>
- Hong, J. P. (2006). Reconstruction of the diabetic foot using the anterolateral thigh perforator flap. *Plastic and reconstructive surgery*, 117(5), 1599–1608. <https://doi.org/10.1097/01.prs.0000207057.16292.8f>
- Hong, J. P. & Kim, E. K. (2007). Sole reconstruction using anterolateral thigh perforator free flaps. *Plastic and reconstructive surgery*, 119(1), 186–193. <https://doi.org/10.1097/01.prs.0000244856.98170.9c>
- Husain T. (1953). An experimental study of some pressure effects on tissues, with reference to the bed-sore problem. *The Journal of pathology and bacteriology*, 66(2), 347–358. <https://doi.org/10.1002/path.1700660203>
- IBM Corp. (2019). *IBM SPSS Statistics for Windows* (Version 26.0) [Computer software]. IBM Corp. Armonk, NY.
- Ishikawa, K., Isshiki, N., Suzuki, S. & Shimamura, S. (1987). Distally based dorsalis pedis island flap for coverage of the distal portion of the foot. *British journal of plastic surgery*, 40(5), 521–525. [https://doi.org/10.1016/s0007-1226\(87\)90087-7](https://doi.org/10.1016/s0007-1226(87)90087-7)
- Jacobson, J. H. (1971). Microsurgery. *Current Problems in Surgery*, 8(2), 1–56. [https://doi.org/10.1016/S0011-3840\(71\)80006-0](https://doi.org/10.1016/S0011-3840(71)80006-0)
- Johnson, T. M., Ratner, D. & Nelson, B. R. (1992). Soft tissue reconstruction with skin grafting. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 27(2), 151–165. [https://doi.org/10.1016/0190-9622\(92\)70164-B](https://doi.org/10.1016/0190-9622(92)70164-B)
- Kang, M. J., Chung, C. H., Chang, Y. J. & Kim, K. H. (2013). Reconstruction of the lower extremity using free flaps. *Archives of plastic surgery*, 40(5), 575–583. <https://doi.org/10.5999/aps.2013.40.5.575>
- Kehrer, M., Kohlhof, H., Schwetje, D., Kasapovic, A., Kehrer, A., Wirtz, D. C. & Friedrich, M. J. (2020). Klinische Basisuntersuchungen am Fuß und Sprunggelenk [Basic Clinical Examination of the Foot and Ankle]. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, 158(6), 657–660. <https://doi.org/10.1055/a-1209-3971>
- Knobloch, K. & Vogt, P. M [P. M.] (2010). Die rekonstruktive Sequenz des 21. Jahrhunderts. Ein rekonstruktives Uhrwerk [The reconstructive sequence in the 21st century. A

- reconstructive clockwork]. *Der Chirurg*, 81(5), 441–446.  
<https://doi.org/10.1007/s00104-010-1917-3>
- Koh, K., Goh, T. L. H., Song, C. T., Suh, H. S., Rovito, P. V., Hong, J.-P. & Hallock, G. G. (2018). Free versus Pedicled Perforator Flaps for Lower Extremity Reconstruction: A Multicenter Comparison of Institutional Practices and Outcomes. *Journal of reconstructive microsurgery*, 34(8), 572–580. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1639576>
- Kovar, A., Colakoglu, S. & Iorio, M. L. (2020). Choosing between Muscle and Fasciocutaneous Free Flap Reconstruction in the Treatment of Lower Extremity Osteomyelitis: Available Evidence for a Function-Specific Approach. *Journal of reconstructive microsurgery*, 36(3), 197–203. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1698469>
- Kozusko, S. D., Liu, X., Riccio, C. A., Chang, J., Boyd, L. C., Kokkalis, Z. & Konofaos, P. (2019). Selecting a free flap for soft tissue coverage in lower extremity reconstruction. *Injury*, 50 Suppl 5, S32-S39. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.10.045>
- Krag, C. & Riegels-Nielsen, P. (1982). The dorsalis pedis flap for lower leg reconstruction. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 53(3), 487–493.  
<https://doi.org/10.3109/17453678208992246>
- Kroll, S. S., Schusterman, M. A., Reece, G. P., Miller, M. J., Evans, G. R., Robb, G. L. & Baldwin, B. J. (1996). Timing of pedicle thrombosis and flap loss after free-tissue transfer. *Plastic and reconstructive surgery*, 98(7), 1230–1233.  
<https://doi.org/10.1097/00006534-199612000-00017>
- Küntschner, M. V., Erdmann, D [D.], Homann, H. H., Steinau, H. U., Levin, S. L. & Germann, G [G.] (2001). The concept of fillet flaps: classification, indications, and analysis of their clinical value. *Plastic and reconstructive surgery*, 108(4), 885–896.  
<https://doi.org/10.1097/00006534-200109150-00011>
- Kuran, I., Turgut, G., Bas, L., Ozkan, T., Bayri, O. & Gulgonen, A. (2000). Comparison between sensitive and nonsensitive free flaps in reconstruction of the heel and plantar area. *Plastic and reconstructive surgery*, 105(2), 574–580.  
<https://doi.org/10.1097/00006534-200002000-00015>
- Lobmann, R. (2020). Diabetisches Fußsyndrom – eine interdisziplinäre Herausforderung. *Der Diabetologe*, 16(4), 327–328. <https://doi.org/10.1007/s11428-020-00630-x>
- Loo, G. T., Siegel, J. H., Dischinger, P. C., Rixen, D., Burgess, A. R., Addis, M. D., O'Quinn, T., McCammon, L., Schmidhauser, C. B., Marsh, P., Hodge, P. A. & Bents, F. (1996). Airbag protection versus compartment intrusion effect determines the pattern of injuries in multiple trauma motor vehicle crashes. *The Journal of trauma*, 41(6), 935–951. <https://doi.org/10.1097/00005373-199612000-00001>
- Loréa, P., Vercruyse, N. & Coessens, B. C. (2001). Use of gracilis muscle free flap for reconstruction of chronic osteomyelitis of foot and ankle. *Acta orthopaedica Belgica*, 67(3), 267–273. [https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.emedien.ub.uni-muenchen.de/11486690/?from\\_single\\_result=Use+of+gracilis+muscle+free+flap+for+reconstruction+of+chronic+osteomyelitis+of+foot+and+ankle&expanded\\_search\\_query=Use+of+gracilis+muscle+free+flap+for+reconstruction+of+chronic+osteomyelitis+of+foot+and+ankle](https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.emedien.ub.uni-muenchen.de/11486690/?from_single_result=Use+of+gracilis+muscle+free+flap+for+reconstruction+of+chronic+osteomyelitis+of+foot+and+ankle&expanded_search_query=Use+of+gracilis+muscle+free+flap+for+reconstruction+of+chronic+osteomyelitis+of+foot+and+ankle)

- Low, O.-W., Sebastin, S. J. & Cheah, A. E. J. (2019). A Review of Pedicled Perforator Flaps for Reconstruction of the Soft Tissue Defects of the Leg and Foot. *Indian Journal of Plastic Surgery*, 52(1), 26–36. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1688103>
- Lu, J., DeFazio, M. V., Lakhiani, C., Abboud, M., Penzler, M., Elmarsafi, T., Kim, P. J., Attinger, C. E. & Evans, K. K [Karen K.] (2019). Limb Salvage and Functional Outcomes following Free Tissue Transfer for the Treatment of Recalcitrant Diabetic Foot Ulcers. *Journal of reconstructive microsurgery*, 35(2), 117–123. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1667363>
- Maciel-Miranda, A., Morris, S. F. & Hallock, G. G. (2013). Local flaps, including pedicled perforator flaps: anatomy, technique, and applications. *Plastic and reconstructive surgery*, 131(6), 896e-911e.
- Man, D. & Acland, R. D. (1980). The microarterial anatomy of the dorsalis pedis flap and its clinical applications. *Plastic and reconstructive surgery*, 65(4), 419–423. <https://doi.org/10.1097/00006534-198004000-00004>
- Masquelet, A. C. & Gilbert, A. (1998). *Atlas der Lappenplastiken in der Chirurgie der Extremitäten: Atlas der Lappenplastiken in der Chirurgie der Extremitäten*. Enke.
- May, J. W., Halls, M. J. & Simon, S. R. (1985). Free microvascular muscle flaps with skin graft reconstruction of extensive defects of the foot: a clinical and gait analysis study. *Plastic and reconstructive surgery*, 75(5), 627–641. <https://doi.org/10.1097/00006534-198505000-00001>
- Mayr-Riedler, M. S., Wacker, A., Gedrich, F., Ninkovic, M., Machens, H.-G., Dozan, M. & Broer, P. N. (2022). Outcomes and risk factors in microsurgical forefoot reconstruction. *Journal of Reconstructive Microsurgery*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1055/a-1939-5742>
- McCraw, J. B [J. B.] & Vasconez, L. O. (1980). Musculocutaneous flaps: principles. *Clinics in plastic surgery*, 7(1), 9–13. <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.emedien.ub.uni-muenchen.de/6988150/>
- McCraw, J. B [John Barry] (1979). Selection of Alternative Local Flaps in the Leg and Foot. *Clinics in plastic surgery*, 6(2), 227–246. [https://doi.org/10.1016/S0094-1298\(20\)32066-6](https://doi.org/10.1016/S0094-1298(20)32066-6)
- Menke, H., Baumeister, S [S.], Erdmann, D [D.], Sauerbier, M [M.] & Germann, G [G.] (2000). Therapeutische Optionen zur Behandlung von Fersendefekten. Vorstellung eines Algorithmus zur Therapiestrategie [Therapeutic options in treatment of heel defects. Presentation of an algorithm for therapeutic strategy]. *Der Chirurg; Zeitschrift Fur Alle Gebiete Der Operativen Medizin*, 71(3), 311–318. <https://doi.org/10.1007/s001040050052>
- Morbach, S [Stephan], Lobmann, R., Eckhard, M., Müller, E., Reike, H., Risse, A., Rümenapf, G [Gerhard] & Spraul, M. (2018). Diabetisches Fußsyndrom. *Diabetologie und Stoffwechsel*, 13(S 02), S244-S252. <https://doi.org/10.1055/a-0598-3040>
- Moucharafieh, R. S., Musharrafieh, R., Saghie, S., Macari, G. & Atiyeh, B. (2003). Diabetic foot salvage with microsurgical free-tissue transfer. *Microsurgery*, 23(3), 257–261. <https://doi.org/10.1002/micr.10118>
- Nalamlieng, M. D., Gould, D. J. & Patel, K. M. (2019). Ultrathin Free Flaps to the Foot and Ankle: New Options for Optimal Soft Tissue Coverage and Functional Contour. *The*

- Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 58(4), 802–806. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2018.11.014>
- Norgren, L., Hiatt, W. R., Dormandy, J. A., Nehler, M. R., Harris, K. A. & Fowkes, F. G. R. (2007). Inter-Society Consensus for the Management of Peripheral Arterial Disease (TASC II). *Journal of Vascular Surgery*, 45 Suppl S(1), S5-67. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2006.12.037>
- Ofer, N., Baumeister, S [Steffen], Megerle, K., Germann, G [Günter] & Sauerbier, M [Michael] (2007). Current concepts of microvascular reconstruction for limb salvage in electrical burn injuries. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 60(7), 724–730. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2006.12.010>
- Oh, S. J., Moon, M., Cha, J., Koh, S. H. & Chung, C. H. (2011). Weight-bearing plantar reconstruction using versatile medial plantar sensate flap. *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery : JPRAS*, 64(2), 248–254. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2010.04.013>
- Oh, T. S., Lee, H. S. & Hong, J. P. (2013). Diabetic foot reconstruction using free flaps increases 5-year-survival rate. *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery : JPRAS*, 66(2), 243–250. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2012.09.024>
- Orticochea, M. (1972). The musculo-cutaneous flap method: an immediate and heroic substitute for the method of delay. *British journal of plastic surgery*, 25(2), 106–110. [https://doi.org/10.1016/s0007-1226\(72\)80029-8](https://doi.org/10.1016/s0007-1226(72)80029-8)
- Osiogo, F. O., Lai, C.-S., Wang, W.-H., Chye, Y.-F. & Lin, S.-D. (2006). Retrospective review of free gracilis muscle flaps in the management of nonhealing diabetic foot ulceration. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 45(4), 252–260. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2006.04.005>
- Ozkan, O., Coşkunfirat, O. K. & Ozgentaş, H. E. (2005). Reliability of free-flap coverage in diabetic foot ulcers. *Microsurgery*, 25(2), 107–112. <https://doi.org/10.1002/micr.20094>
- Pallua, N., Di Benedetto, G. & Berger, A [A.] (2000). Forefoot reconstruction by reversed island flaps in diabetic patients. *Plastic and reconstructive surgery*, 106(4), 823–827. <https://doi.org/10.1097/00006534-200009040-00011>
- Paragas, L. K., Attinger, C. & Blume, P. A. (2000). Local flaps. *Clinics in podiatric medicine and surgery*, 17(2), 267–318. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10810652/>
- Paro, J., Chiou, G. & Sen, S. K. (2016). Comparing Muscle and Fasciocutaneous Free Flaps in Lower Extremity Reconstruction--Does It Matter? *Annals of plastic surgery*, 76 Suppl 3, S213-5. <https://doi.org/10.1097/SAP.0000000000000779>
- Parrett, B. M., Matros, E., Pribaz, J. J. & Orgill, D. P. (2006). Lower extremity trauma: trends in the management of soft-tissue reconstruction of open tibia-fibula fractures. *Plastic and reconstructive surgery*, 117(4), 1315-22; discussion 1323-4. <https://doi.org/10.1097/01.prs.0000204959.18136.36>
- Pinsolle, V., Reau, A. F., Pelissier, P., Martin, D. & Baudet, J. (2006). Soft-tissue reconstruction of the distal lower leg and foot: are free flaps the only choice? Review of 215 cases. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 59(9), 912-7; discussion 918. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2005.11.037>

- Platt, A. J., McKlernan, M. V. & McLean, N. R. (1996). Free tissue transfer in the management of burns. *Burns*, 22(6), 474–476. [https://doi.org/10.1016/0305-4179\(96\)00012-5](https://doi.org/10.1016/0305-4179(96)00012-5)
- Pontén, B. (1981). The fasciocutaneous flap: its use in soft tissue defects of the lower leg. *British journal of plastic surgery*, 34(2), 215–220. [https://doi.org/10.1016/s0007-1226\(81\)80097-5](https://doi.org/10.1016/s0007-1226(81)80097-5)
- Potparic, Z. & Rajacic, N. (1997). Long-term results of weight-bearing foot reconstruction with non-innervated and reinnervated free flaps. *British journal of plastic surgery*, 50(3), 176–181. [https://doi.org/10.1016/s0007-1226\(97\)91366-7](https://doi.org/10.1016/s0007-1226(97)91366-7)
- Rab, M., Grill, C. J., Dobrovits, A. & Koller, R. (2008). Lokale Lappenplastiken zur Defektdeckung am Fuß und Sprunggelenk. *Fuß & Sprunggelenk*, 6(2), 78–85. <https://doi.org/10.1016/j.fuspru.2008.03.008>
- Rainer, C., Schwabegger, A. H., Bauer, T., Ninković, M., Klestil, T., Harpf, C. & Ninković, M. M. (1999). Free flap reconstruction of the foot. *Annals of plastic surgery*, 42(6), 595-606; discussion 606-7. <https://doi.org/10.1097/00000637-199906000-00003>
- Regel, G., Lobenhoffer, P., Lehmann, U., Pape, H. C., Pohlemann, T. & Tscherné, H. (1993). Ergebnisse in der Behandlung Polytraumatisierter. Eine vergleichende Analyse von 3406 Fällen zwischen 1972 und 1991 [Results of treatment of polytraumatized patients. A comparative analysis of 3,406 cases between 1972 and 1991]. *Der Unfallchirurg*, 96(7), 350–362. <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.emedien.uni-muenchen.de/8367729/>
- Reitzle, L., Schmidt, C., Du, Y [Yong], Icks, A., Hagen, B., Ziese, T. & Scheidt-Nave, C [Christa] (2020). Einschätzungen zur Prävalenz mikrovaskulärer Folgeerkrankungen bei Diabetes mellitus in Deutschland. Analyse von Versichertendaten aller gesetzlichen Krankenkassen für die Jahre 2012 und 2013 [Estimating prevalent microvascular complications of diabetes mellitus in Germany. Analysis of statutory health insurance data in 2012 and 2013]. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 63(10), 1219–1230. <https://doi.org/10.1007/s00103-020-03211-x>
- Reus, W. F., Colen, L. B. & Straker, D. J. (1992). Tobacco smoking and complications in elective microsurgery. *Plastic and reconstructive surgery*, 89(3), 490–494. <https://doi.org/10.1097/00006534-199203000-00016>
- Rodriguez, E. D., Bluebond-Langner, R., Copeland, C., Grim, T. N., Singh, N. K. & Scalea, T. (2009). Functional outcomes of posttraumatic lower limb salvage: a pilot study of anterolateral thigh perforator flaps versus muscle flaps. *The Journal of trauma*, 66(5), 1311–1314. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e318187cc87>
- Rudolph, H. & Studtmann, V. (1997). Plastische und Wiederherstellungschirurgie. In H.-J. Oestern & J. Probst (Hrsg.), *Unfallchirurgie in Deutschland: Bilanz und Perspektiven* (S. 349–362). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-60879-7\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-642-60879-7_21)
- Rümenapf, G [G.], Morbach, S [S.], Rother, U., Uhl, C., Görtz, H., Böckler, D., Behrendt, C.-A., Hochlenert, D., Engels, G. & Sigl, M. (2021). Diabetisches Fußsyndrom – Teil 1 : Definition, Pathophysiologie, Diagnostik und Klassifikation [Diabetic foot syndrome-Part 1 : Definition, pathophysiology, diagnostics and

- classification]. *Der Chirurg*, 92(1), 81–94. <https://doi.org/10.1007/s00104-020-01301-9>
- Russo, A., Delia, G., Casoli, V., Colonna, M. R. & Stagno d'Alcontres, F. (2014). Dorsalis Pedis Adipofascial Perforator flap for great toe reconstruction: anatomical study and clinical applications. *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery : JPRAS*, 67(4), 550–554. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2013.12.019>
- Saint-Cyr, M., Wong, C., Buchel, E. W., Colohan, S. & Pederson, W. C. (2012). Free tissue transfers and replantation. *Plastic and reconstructive surgery*, 130(6), 858e-878e. <https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e31826da2b7>
- Santanelli, F., Tenna, S., Pace, A. & Scuderi, N. (2002). Free flap reconstruction of the sole of the foot with or without sensory nerve coaptation. *Plastic and reconstructive surgery*, 109(7), 2314-22; discussion 2323-4. <https://doi.org/10.1097/00006534-200206000-00023>
- Scaglioni, M. F., Rittirsch, D. & Giovanoli, P. (2018). Reconstruction of the Heel, Middle Foot Sole, and Plantar Forefoot with the Medial Plantar Artery Perforator Flap: Clinical Experience with 28 Cases. *Plastic and reconstructive surgery*, 141(1), 200–208. <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000003975>
- Scheufler, O., Kalbermatten, D. & Pierer, G [Gerhard] (2007). Instep free flap for plantar soft tissue reconstruction: indications and options. *Microsurgery*, 27(3), 174–180. <https://doi.org/10.1002/micr.20327>
- Schmidt, C., Reitzle, L., Dreß, J., Rommel, A., Ziese, T. & Heidemann, C [Christin] (2020). Prävalenz und Inzidenz des dokumentierten Diabetes mellitus – Referenzauswertung für die Diabetes-Surveillance auf Basis von Daten aller gesetzlich Krankenversicherten [Prevalence and incidence of documented diabetes based on health claims data-reference analysis for diabetes surveillance in Germany]. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 63(1), 93–102. <https://doi.org/10.1007/s00103-019-03068-9>
- Schumpelick, V. (2010). *Kurzlehrbuch Chirurgie* (8., vollst. überarb. und erw. Aufl.). Thieme.
- Serletti, J. M., Deuber, M. A., Guidera, P. M., Herrera, H. R., Reading, G., Hurwitz, S. R., Jones, J. A., Ouriel, K. & Green, R. M. (1995). Atherosclerosis of the lower extremity and free-tissue reconstruction for limb salvage. *Plastic and reconstructive surgery*, 96(5), 1136–1144. <https://doi.org/10.1097/00006534-199510000-00022>
- Simman, R. (2009). Wound closure and the reconstructive ladder in plastic surgery. *The Journal of the American College of Certified Wound Specialists*, 1(1), 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.jcws.2008.10.003>
- Soltanian, H., Garcia, R. M. & Hollenbeck, S. T. (2015). Current Concepts in Lower Extremity Reconstruction. *Plastic and reconstructive surgery*, 136(6), 815e-829e. <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000001807>
- Sommerlad, B. C. & McGrouther, D. A. (1978). Resurfacing the sole: Long-term follow-up and comparison of techniques. *British journal of plastic surgery*, 31(2), 107–116. [https://doi.org/10.1016/s0007-1226\(78\)90057-7](https://doi.org/10.1016/s0007-1226(78)90057-7)
- Sönmez, A., Bayramiçli, M., Sönmez, B. & Numanoğlu, A. (2003). Reconstruction of the weight-bearing surface of the foot with nonneurosensory free flaps. *Plastic and*

- reconstructive surgery*, 111(7), 2230–2236.  
<https://doi.org/10.1097/01.PRS.0000062564.35426.07>
- Taylor, G. I. & Daniel, R. K. (1975). The anatomy of several free flap donor sites. *Plastic and reconstructive surgery*, 56(3), 243–253. <https://doi.org/10.1097/00006534-197509000-00001>
- Teunis, T., van Heerma Voss, M. R., Kon, M. & van Maurik, J. F. M. M. (2013). CT-angiography prior to DIEP flap breast reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Microsurgery*, 33(6), 496–502. <https://doi.org/10.1002/micr.22119>
- Tönnies, T., Röckl, S., Hoyer, A., Heidemann, C [C.], Baumert, J., Du, Y [Y.], Scheidt-Nave, C [C.] & Brinks, R. (2019). Projected number of people with diagnosed Type 2 diabetes in Germany in 2040. *Diabetic Medicine*, 36(10), 1217–1225.  
<https://doi.org/10.1111/dme.13902>
- TraumaRegister DGU®. *Traumaregister der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie*.
- Uluçay, G. E., Yildirim, S., Aydoğdu, E. & Aköz, T. (2006). Reconstruction of crush injuries of the foot dorsum: is the latissimus dorsi muscle flap a reliable choice? *Journal of Reconstructive Microsurgery*, 22(3), 157–166. <https://doi.org/10.1055/s-2006-939961>
- Vanhoutte, E. K., Faber, C. G., van Nes, S. I., Jacobs, B. C., van Doorn, P. A [Pieter Antoon], van Koningsveld, R., Cornblath, D. R., van der Kooi, Anneke Jelly, Cats, E. A., van den Berg, Leonard Hendrik, Notermans, N. C., van der Pol, Willem Lodewijk, Hermans, M. C. E., van der Beek, Nadine Anna Maria Elisabeth, Gorson, K. C., Eurelings, M., Engelsman, J., Boot, H., Meijer, R. J., . . . Merkies, I. S. J. (2012). Modifying the Medical Research Council grading system through Rasch analyses. *Brain*, 135(Pt 5), 1639–1649. <https://doi.org/10.1093/brain/awr318>
- Verdan, C. (1980). Die Geschichte der Plastischen und Wiederherstellenden Chirurgie. In Sournia, Poulet, Martiny (Hrsg.), *Illustrierte Geschichte der Medizin* (S. 2911–2932). Andreas & Andreas.
- Vogt, P. M [Peter M.]. (2011). *Praxis der plastischen Chirurgie*. Springer.
- Wade, R. G., Watford, J., Wormald, J. C. R., Bramhall, R. J. & Figus, A. (2018). Perforator mapping reduces the operative time of DIEP flap breast reconstruction: A systematic review and meta-analysis of preoperative ultrasound, computed tomography and magnetic resonance angiography. *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery : JPRAS*, 71(4), 468–477. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2017.12.012>
- Walters, E. T., Pandya, M., Rajpal, N., Abboud, M. M., Elmarsafi, T., Steinberg, J. S., Evans, K. K [Karen K.], Attinger, C. E. & Kim, P. J. (2020). Long Term Outcomes of Split-Thickness Skin Grafting to the Plantar Foot. *The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons*, 59(3), 498–501. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2019.09.027>
- Ware, J. E. & Sherbourne, C. D. (1992). The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection. *Medical care*, 30(6), 473–483.
- Wei, F.-C., Jain, V., Celik, N., Chen, H., Chuang, D. C.-C. & Lin, C.-H. (2002). Have we found an ideal soft-tissue flap? An experience with 672 anterolateral thigh flaps. *Plastic and reconstructive surgery*, 109(7), 2219-26; discussion 2227-30.  
<https://doi.org/10.1097/00006534-200206000-00007>

- Weninger, P., Nau, T., Aldrian, S. & Vécsei, V. (2005). Langzeitergebnisse in der Behandlung von Fussverletzungen bei polytraumatisierten Patienten [Long-term results in the treatment of foot injuries in polytraumatized patients]. *Zentralblatt für Chirurgie*, 130(5), 485–491. <https://doi.org/10.1055/s-2005-836912>
- Winaikosol, K., Punyavong, P., Jenwitheesuk, K., Surakunprapha, P. & Chowchuen, B. (2016). Dorsalis pedis Perforator Flap: Cadaveric Anatomical Study. *Journal of the Medical Association of Thailand = Chotmaihet thangphaet*, 99 Suppl 5, S137-40. <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.emedien.ub.uni-muenchen.de/29906023/>
- Wurzinger, L. J. (2014). Unterschenkel und Fuß. In G. Aumüller (Hrsg.), *Duale Reihe. Anatomie* (3. Aufl., S. 396–433). Thieme.
- Yoshimura, Y., Nakajima, T. & Kami, T. (1985). Distally based abductor digiti minimi muscle flap. *Annals of plastic surgery*, 14(4), 375–377. <https://doi.org/10.1097/00000637-198504000-00012>

## Anhang

Anhang 1: Votum der Ethikkommission.....	89
Anhang 2: Patienteninformation und Einwilligungserklärung.....	90
Anhang 3: Gesundheitsfragebogen SF-36.....	95
Anhang 4: Untersuchungsbogen .....	98

# Anhang 1: Votum der Ethikkommission

Unser Zeichen: 367/20 S



Technische Universität München



Ethikkommission

Ethikkommission an der Technischen Universität München  
Ismaninger Str. 22 · 81675 München · Germany

Städtisches Klinikum München GmbH  
Standort Bogenhausen  
Klinik für Plastische, Rekonstruktive,  
Handchirurgie und Verbrennungschirurgie  
PD Dr. Niclas Broer  
Englschalkinger Str. 77  
81925 München

Prof. Dr. Georg Schmidt  
Vorsitzender

Prof. Dr. Kurt Ulm  
Stellvertretender Vorsitzender

Ismaninger Str. 22  
81675 München  
Germany

Tel: 089 4140-4371  
Fax: 089 4140-4199

ethikkommission@mri.tum.de  
www.ek.med.tum.de

München, 10.07.2020/EB

Unser Zeichen: \_\_\_\_\_ (bitte bei Schriftwechsel angeben)  
Tel. Durchwahl: -6965

## Beratung nach § 15 Berufsordnung für Ärzte in Bayern

Studientitel: Funktionelle Langzeitanalyse von Vorfußrekonstruktionen  
nach Weichteildefekten  
Antragsteller: PD Dr. Niclas Broer

Sehr geehrter Herr Dr. Broer,

die Ethikkommission hat Ihren Antrag vom 20.06.2020 auf der Basis der vorgelegten Unterlagen geprüft.

### Die Ethikkommission erhebt keine Einwände gegen die Durchführung der Studie.

Die ethische und rechtliche Verantwortung für die Durchführung dieser Studie verbleibt bei Ihnen. Änderungen des Protokolls sind zur erneuten Prüfung einzureichen. Das Studienende ist anzuzeigen und ein Kurzbericht über das Ergebnis der Studie ist vorzulegen. Die Ethikkommission empfiehlt die Eintragung des Forschungsprojektes in ein WHO-anerkanntes Register. Datenschutzrechtliche Aspekte von Forschungsvorhaben werden durch die Ethikkommission grundsätzlich nur cursorisch geprüft. Dieses Votum / diese Bewertung ersetzt mithin nicht die Konsultation des zuständigen betrieblichen oder behördlichen Datenschutzbeauftragten.

Die Ethikkommission empfiehlt bei Kooperationen mit anderen Einrichtungen grundsätzlich eine vertragliche Regelung. Wenden Sie sich zur weiteren Beratung an Ihre für Verträge zuständige Abteilung.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. Georg Schmidt  
Vorsitzender der Ethikkommission

Seite 1 von 2

## Anhang 2: Patienteninformation und Einwilligungserklärung

### **Patienteninformation und Einwilligungserklärung zum Forschungsvorhaben: Funktionelle Langzeitanalyse von Vorfußrekonstruktionen nach Weichteildefekten Patienteninformation**

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

wir bitten Sie, an einer wissenschaftlichen Studie teilzunehmen. In dieser Patienteninformation finden Sie alles Wesentliche zu der Studie.

Bitte lesen Sie diese Information sorgfältig durch. Ihre Ärztin/Ihr Arzt wird mit Ihnen über die Studie sprechen und Ihre Fragen beantworten.

Bei uns sollen 60 Personen an der Studie teilnehmen.

Die Studie wurde von der Klinik für Plastische, Rekonstruktive, Hand und Verbrennungschirurgie der München Klinik Bogenhausen geplant und wird in Kooperation mit der Klinik und Poliklinik für Plastische Chirurgie und Handchirurgie des Klinikums Rechts der Isar durchgeführt.

Unsere Einrichtung finanziert die Studie selbst.

Eine unabhängige Ethikkommission hat die Studie geprüft und im Rahmen der Beratung keine Einwände gegen die Durchführung erhoben.

Die Teilnahme an der Studie ist freiwillig. Wenn Sie nicht teilnehmen wollen oder wenn Sie später Ihre Einwilligung widerrufen, werden Ihnen daraus keine Nachteile entstehen.

#### **Warum wird diese Studie durchgeführt?**

Die operative Versorgung von Wunden am Fuß stellt eine große Herausforderung dar. Dies liegt sowohl an der komplexen Anatomie als auch an der enormen Beanspruchung durch mechanische Kräfte. Die Folgen sind häufig kaum oder schlecht heilende Wunden. Um eine Amputation (= Entfernung des Fußes) zu vermeiden, gilt es den Fuß durch eine Rekonstruktion zu erhalten. Dafür gibt es verschiedene Operationverfahren. Für viele Patienten entscheidet das Rekonstruktionsergebnis darüber, ob sie wieder uneingeschränkt in ihren Lebensalltag zurückkehren können.

Es gibt verschiedene Operationsverfahren zur Versorgung von Wunden am Fuß: Häufig wird dabei Gewebe aus anderen Körperregionen entnommen und auf die Wunde am Fuß genäht. Bei kleineren Wunden kann manchmal auch angrenzendes Gewebe hierfür verwendet werden. Durch einen Vergleich der verschiedenen Operationsverfahren hinsichtlich des funktionellen Ergebnisses und der Komplikationsrate soll ein einheitlicher

Behandlungsstandard erreicht werden. Dies würde die Versorgung künftiger Patienten enorm verbessern.

***Wie ist der Ablauf der Studie?***

Ihre Teilnahme an der Studie ist nach einem einzigen Termin beendet.

Für die Studie ist ein einmaliger Termin für eine Nachuntersuchung notwendig. Dieser dauert ca. 30 min. Dabei wird Kraft, Sensibilität und Bewegungsumfang am Fuß gemessen sowie die Narbenbildung beurteilt. Es folgt ein standardisierter Gesundheitsfragebogen sowie ein kurzes Gespräch über aktuelle Beschwerden am Fuß. Zum Schluss werden noch Fotos vom Fuß angefertigt.

***Gibt es einen persönlichen Nutzen durch die Teilnahme an der Studie?***

Die Patienten profitieren durch eine zusätzliche ärztliche Konsultation im Rahmen der Nachsorge und Qualitätssicherung. Dabei können mögliche Wundheilungsstörungen oder Lappenüberschüsse erkannt werden, sodass konservative (z.B. Einlagen/orthopädisches Schuhwerk; Wundpflege) oder operative Maßnahmen (Lappenausdünnung, Korrektur) ergriffen werden können.

Es ist allerdings möglich, dass Sie durch Ihre Teilnahme keinen direkten Nutzen haben. Die Ergebnisse der Studie können jedoch in Zukunft anderen Menschen helfen.

***Welche Risiken sind mit einer Teilnahme an der Studie verbunden?***

Die Teilnahme an der Studie ist mit keinen Risiken verbunden.

Eine Teilnahme ist nur für Volljährige möglich.

***Entstehen zusätzliche Kosten?***

Durch die Teilnahme an der Studie entstehen weder Ihnen noch der Krankenkasse zusätzliche Kosten.

***Ist es möglich, im Verlauf aus der Studie auszuscheiden?***

Ihre Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig. Sie können jederzeit ohne Angabe von Gründen die Teilnahme beenden. Dadurch entstehen für Sie keine Nachteile für Ihre medizinische Behandlung oder Ihr Verhältnis zu Ihrem behandelnden Arzt.

Darüber hinaus können Teilnehmer die Berichtigung oder Löschung Ihrer Daten verlangen.

### **Information zum Datenschutz**

In dieser Studie ist die Klinik für Plastische, Rekonstruktive, Hand und Verbrennungschirurgie der München Klinik Bogenhausen, Engelschalkinger Straße 77 81925 München für die Datenverarbeitung verantwortlich. Rechtsgrundlage für die Verarbeitung Ihrer Daten ist Ihre Einwilligung (Art. 6 Abs. 1, Art. 9 Abs. 2 DSGVO).

Die erhobenen Daten werden ausschließlich im Rahmen dieser Studie verwendet.

Die Daten beinhalten auch personenidentifizierende Daten wie Geburtsdatum und sensible personenbezogene Gesundheitsdaten.

Alle Daten, durch die Sie unmittelbar identifiziert werden könnten, z.B. Ihr Name oder Ihr Geburtsdatum, werden gelöscht bzw. so verändert, dass praktisch niemand, auch die Studienleiter nicht, herausfinden können, zu wem die Daten gehören (anonymisiert).

Die Daten werden Klinik für Plastische, Rekonstruktive, Hand und Verbrennungschirurgie der München Klinik Bogenhausen, Engelschalkinger Straße 77 81925 München gespeichert.

Wir bewahren die personenbezogenen Daten nur solange auf, wie dies für den oben genannten Zweck erforderlich ist. Ihre Daten werden nach Ablauf von 10 Jahren gelöscht.

Wir übermitteln Ihre personenbezogenen Daten weder an andere Einrichtungen in Deutschland, der EU, noch an ein Drittland außerhalb der EU oder an eine internationale Organisation.

Die Einwilligung zur Verarbeitung Ihrer Daten ist freiwillig. Sie können jederzeit die Einwilligung ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteile für Sie widerrufen.

Sie haben das Recht, Auskunft über die Sie betreffenden Daten zu erhalten, auch in Form einer unentgeltlichen Kopie. Darüber hinaus können Sie die Berichtigung, Sperrung oder Löschung Ihrer Daten verlangen. Die Rechtmäßigkeit der aufgrund der Einwilligung bis zum Widerruf erfolgten Verarbeitung wird hiervon nicht berührt.

Wenden Sie sich in diesen Fällen an:

PD Dr. med. N. Broer, [Niclas.Broer@muenchen-klinik.de](mailto:Niclas.Broer@muenchen-klinik.de)

Bei Rückfragen zum Datenschutz können Sie den Datenschutzbeauftragten kontaktieren.

Wenden Sie sich an:

Datenschutzbeauftragter des Klinikums rechts der Isar

Postanschrift: Ismaninger Straße 22, 81675 München

Telefon: 089/4140-0

E-Mail: [datenschutz@mri.tum.de](mailto:datenschutz@mri.tum.de)

Schütz Kosmas, Kölner Pl. 1, 80804 München, 089 3068(10)-3296,  
[kosmas.schuetz@muenchen-klinik.de](mailto:kosmas.schuetz@muenchen-klinik.de)

Sie haben ebenfalls das Recht, sich bei der Aufsichtsbehörde zu beschweren. Wenden Sie sich an:

Bayerischer Landesbeauftragter für den Datenschutz

Postanschrift: Postfach 22 12 19, 80502 München

Hausanschrift: Wagnmüllerstraße 18, 80538 München

E-Mail: [poststelle@datenschutz-bayern.de](mailto:poststelle@datenschutz-bayern.de)

**Patienteninformation und Einwilligungserklärung zum Forschungsvorhaben:  
Funktionelle Langzeitanalyse von Vorfußrekonstruktionen nach  
Weichteildefekten  
Einwilligungserklärung**

***Einwilligung zur Teilnahme***

Ich wurde von \_\_\_\_\_ über die Studie informiert.  
Ich habe die schriftliche Information und Einwilligungserklärung zu der oben genannten Studie erhalten und gelesen. Ich wurde ausführlich schriftlich und mündlich über den Zweck und den Verlauf der Studie, die Chancen und Risiken der Teilnahme und meine Rechte und Pflichten aufgeklärt. Ich hatte Gelegenheit Fragen zu stellen. Diese wurden zufriedenstellend und vollständig beantwortet. Zusätzlich zur schriftlichen Information wurden folgende Punkte besprochen:

---

Ich wurde darauf hingewiesen, dass meine Teilnahme freiwillig ist und ich das Recht habe, meine Einwilligung jederzeit ohne Angabe von Gründen zu widerrufen, ohne dass mir dadurch Nachteile entstehen.

Ich willige hiermit in die Teilnahme an der oben genannten Studie ein.

Ort, Datum

Unterschrift des Teilnehmers

Ort, Datum

Unterschrift des aufklärenden Arztes

***Einwilligung zur Datenverarbeitung***

Die Verarbeitung und Nutzung der persönlichen Daten für die oben genannte Studie erfolgt ausschließlich wie in der Information zur Studie beschrieben.

Ich willige hiermit in diese Verarbeitung meiner personenbezogenen Daten ein.

Ort, Datum

Unterschrift des Teilnehmers

Ort, Datum

Unterschrift des aufklärenden Arztes



**Fragebogen zum Gesundheitszustand**

In diesem Fragebogen geht es um Ihre Beurteilung Ihres Gesundheitszustandes. Der Bogen ermöglicht es, im Zeitverlauf nachzuvollziehen, wie Sie sich fühlen und wie Sie im Alltag zurechtkommen.<sup>1</sup>

Bitte beantworten Sie jede der folgenden Fragen, indem Sie bei den Antwortmöglichkeiten die Zahl ankreuzen, die am besten auf Sie zutrifft.

**1. Wie würden Sie Ihren Gesundheitszustand im Allgemeinen beschreiben?**

(Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

- Ausgezeichnet..... 1
- Sehr gut..... 2
- Gut..... 3
- Weniger gut..... 4
- Schlecht..... 5

**2. Im Vergleich zum vergangenen Jahr, wie würden Sie Ihren derzeitigen Gesundheitszustand beschreiben?**

(Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

- Derzeit viel besser als vor einem Jahr..... 1
- Derzeit etwas besser als vor einem Jahr..... 2
- Etwa so wie vor einem Jahr..... 3
- Derzeit etwas schlechter als vor einem Jahr..... 4
- Derzeit viel schlechter als vor einem Jahr..... 5

**Im Folgenden sind einige Tätigkeiten beschrieben, die Sie vielleicht an einem normalen Tag ausüben. Sind Sie durch Ihren derzeitigen Gesundheitszustand bei diesen Tätigkeiten eingeschränkt? Wenn ja, wie stark?**

(Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Zahl an)

TÄTIGKEITEN	Ja, stark eingeschränkt	Ja, etwas eingeschränkt	Nein, überhaupt nicht eingeschränkt
3. anstrengende Tätigkeiten, z.B. schnell laufen, schwere Gegenstände heben, anstrengenden Sport treiben	1	2	3
4. mittelschwere Tätigkeiten, z.B. einen Tisch verschieben, staubsaugen, kegeln, Golf spielen	1	2	3
5. Einkaufstaschen heben oder tragen	1	2	3
6. mehrere Treppenabsätze steigen	1	2	3
7. einen Treppenabsatz steigen	1	2	3
8. sich beugen, knien, bücken	1	2	3
9. mehr als 1 Kilometer zu Fuß gehen	1	2	3
10. mehrere Straßenkreuzungen weit zu Fuß gehen	1	2	3
11. eine Straßenkreuzung weit zu Fuß gehen	1	2	3
12. sich baden oder anziehen	1	2	3

**Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund Ihrer körperlichen Gesundheit irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause?**  
(Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Zahl an)

SCHWIERIGKEITEN	JA	NEIN
13. Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein	1	2
14. Ich habe weniger geschafft als ich wollte	1	2
15. Ich konnte nur bestimmte Dinge tun	1	2
16. Ich hatte Schwierigkeiten bei der Ausführung (z.B. ich musste mich besonders anstrengen)	1	2

**Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund seelischer Probleme irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause (z. B. weil Sie sich niedergeschlagen oder ängstlich fühlten)?**  
(Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Zahl an)

SCHWIERIGKEITEN	JA	NEIN
17. Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein	1	2
18. Ich habe weniger geschafft als ich wollte	1	2
19. Ich konnte nicht so sorgfältig wie üblich arbeiten	1	2

**20. Wie sehr haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelischen Probleme in den vergangenen 4 Wochen Ihre normalen Kontakte zu Familienangehörigen, Freunden, Nachbarn oder zum Bekanntenkreis beeinträchtigt?**  
(Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

- Überhaupt nicht..... 1
- Etwas..... 2
- Mäßig..... 3
- Ziemlich..... 4
- Sehr..... 5

**21. Wie stark waren Ihre Schmerzen in den vergangenen 4 Wochen?**  
(Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

- Ich hatte keine Schmerzen..... 1
- Sehr leicht ..... 2
- Leicht..... 3
- Mäßig..... 4
- Stark..... 5
- Sehr stark..... 6

**22. Inwieweit haben die Schmerzen Sie in den vergangenen 4 Wochen bei der Ausübung Ihrer Alltagstätigkeiten zu Hause und im Beruf behindert ?**  
(Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

- Überhaupt nicht..... 1
- Ein bißchen..... 2
- Mäßig..... 3
- Ziemlich..... 4
- Sehr..... 5

In diesen Fragen geht es darum, wie Sie sich fühlen und wie es Ihnen in den vergangenen 4 Wochen gegangen ist. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die Zahl an, die Ihrem Befinden am ehesten entspricht). Wie oft waren Sie in den vergangenen 4 Wochen...  
(Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Zahl an)

BEFINDEN	Immer	Meistens	Ziemlich oft	Manchmal	Selten	Nie
23. ...voller Schwung	1	2	3	4	5	6
24. ...sehr nervös	1	2	3	4	5	6
25. ...so niedergeschlagen, dass Sie nichts aufheitern konnte?	1	2	3	4	5	6
26. ...ruhig und gelassen	1	2	3	4	5	6
27. ...voller Energie?	1	2	3	4	5	6
28. ...entmutigt und traurig	1	2	3	4	5	6
29. ...erschöpft	1	2	3	4	5	6
30. ... glücklich	1	2	3	4	5	6
31. ...müde	1	2	3	4	5	6

32. Wie häufig haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelischen Probleme in den vergangenen 4 Wochen Ihre Kontakte zu anderen Menschen (Besuche bei Freunden, Verwandten usw.) beeinträchtigt?  
(Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

Immer..... 1  
 Meistens..... 2  
 Manchmal..... 3  
 Selten..... 4  
 Nie..... 5

Inwieweit trifft jede der folgenden Aussagen auf Sie zu?  
(Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Zahl an)

AUSSAGEN	Trifft ganz zu	Trifft weitgehend zu	Weiß nicht	Trifft weitgehend nicht zu	Trifft überhaupt nicht zu
33. Ich scheine etwas leichter als andere krank zu werden	1	2	3	4	5
34. Ich bin genauso gesund wie alle anderen, die ich kenne	1	2	3	4	5
35. Ich erwarte, dass meine Gesundheit nachlässt	1	2	3	4	5
36. Ich erfreue mich ausgezeichneter Gesundheit	1	2	3	4	5

<sup>1</sup> SF-36, RAND Medical Outcomes Study (1992)

## Angang 4: Untersuchungsbogen

### Untersuchungsbogen

#### 1. Bewegungsausmaß:

	krankte Seite	gesunde Seite
Flexion		
Extension		

2. Kraft:  voll  vermindert  keine Kraftgrad nach Janda \_\_\_ / 5

Fersengang:  ja  nein

Zehenspitzenengang:  ja  nein

#### 3. Sensibilität:

	krankte Seite	gesunde Seite
Vibration (x/8)	___/8	___/8
Monofilament 10 g (5 Wiederholungen)	___/5	___/5

#### 4. Vancouver Scar Scale:

Durchblutung	normal	0	Höhe	flach	0
	pink	1		< 2mm	1
	rot	2		2-5 mm	2
	lila	3		> 5 mm	3
Pigmentierung	normal	0	Flexibilität	normal	0
	Hypopigmentierung	1		biegsam, geringer Widerstand	1
	Hyperpigmentierung	2		nachgebend bei Druck	2
				hart/unbiegsam	3
				Strangartig, ausbleichen bei Ext	4
			Kontraktur/Verkürzung	5	

gesamt: \_\_\_\_

#### 5. Schmerzen (NRS):

	Entnahmestelle	Empfängerstelle
in Ruhe	___/ 10	___/ 10
bei Belastung	___/ 10	___/ 10

Einnahme von Schmerzmitteln:  ja  nein

#### 6. Risikofaktoren:

Diabetes  Hypertonie  Hyperlipidämie  Gefäßerkrankung  Rauchen

#### 7. Schuhwerk:

normal  Einlagen  orthopädisch

Beschwerden/Probleme:  ja  nein

8. Zufriedenheit: -voll zufrieden-  1  2  3  4  5  6 -voll unzufrieden-

9. Foto/Video:  Foto Fuß (dorsal, plantar, med, lat)  Foto Entnahmestelle  Video Gangbild

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all den Menschen bedanken, die maßgeblich zur Entstehung dieser Promotion beigetragen, wobei mein besonderer Dank folgenden Personen gilt:

Ich möchte mich herzlichst bei meinem Betreuer Prof. Dr. Niclas Broer für die Überlassung des Promotionsthemas sowie die hervorragende Betreuung der Doktorarbeit bedanken. Er war bei Fragen und Problemen immer für mich erreichbar und unterstützte mich umfassend in zahlreichen Bereichen.

Ebenfalls bedankte ich mich bei meinem Mentor Prof. Dr. Hans-Günther Machens für die intensive Einbindung in das akademische Umfeld und Förderung meiner Promotion. Er war stets an meinem Promotionsthema interessiert und gab mir regelmäßig hilfreiches Feedback.

Danke an Herrn Prof. Dr. Milomir Ninkovic für die Möglichkeit der Vorbereitung und Durchführung meiner Arbeit in seiner Klinik.

Ein besonderer Dank geht an Dr. Alexander Wacker, Dr. Michael Mayr-Riedler und Dr. Mirko Dozan für die Umsetzung des Promotionsprojekts. Sie waren immer sofort für mich da und halfen mir sowohl bei fachlichen als auch zahlreichen organisatorischen Angelegenheiten. Vielen herzlichen Dank für die ständige Begleitung während meiner Promotion.

Vielen Dank auch an die Sekretärinnen Diana Seider und Michaela Herzner für die allseits freundliche Hilfsbereitschaft in administrativen Angelegenheiten.

Meiner Familie möchte ich von ganzem Herzen für die Unterstützung und Ermutigung während des Studiums und darüber hinaus danken. Lieber Papa, danke, dass du mir mit deiner umfangreichen wissenschaftlichen Erfahrung vom Anfang bis zum Ende immer beiseite gestanden bist. Ohne deine Hilfe hätte ich das alles nicht so gut hinbekommen. Liebe Melina, danke, dass du immer an meine Fähigkeiten geglaubt hast, stets für mich da warst und mir die ganze Zeit über emotionalen Halt geschenkt hast.

