

Aus der Klinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Direktor: Univ.-Prof. Dr. Dr. Norbert Kübler

**Die Defektdeckung von Entnahmestellen des Radialislappens
mit Hilfe des automatisierten
Suction-Blister Verfahrens**

**Klinische Studie und Vergleich mit beschriebenen
alternativen und herkömmlichen Methoden zur Deckung
der Donorregion am Unterarm im Rahmen eines
systematischen Reviews**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Parmida Büscher
2022

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Prof. Dr. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. Dr. Jörg Handschel

Zweitgutachter: Prof. Dr. Benedict Wilmes

Meinen lieben Eltern in voller Dankbarkeit gewidmet

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

Heidt, B.A., Mehravari, P., Lommen, J., Schorn, L.K.F., Kübler, N.R., Nitschke, J., Holtmann, H., (2019), “*Donor Defect Coverage by Epidermis Transplantation after Radial Flap Removal – A Case Series Report*” [1]. *World Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 2(2): 1027

Zusammenfassung

Mikrochirurgische Transplantate vom ventralen Unterarm stellen durch ihre anatomischen und ästhetischen Charakteristika eine gute Möglichkeit dar, um komplizierte Gewebedefekte im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich zu rekonstruieren. Bisher erfolgt die plastische Deckung von Weichteildefekten nach Entnahme von mikrovaskulär-gestielten Unterarmklappen (Radialislappen), invasiv, durch Vollhaut- oder Spalthauttransplantate aus Oberarm-, Oberschenkel- und Leistenregion in Narkose. Diese sekundären Donorstellen bedürfen in der Regel einer Wundversorgung unter Anästhesie und können neben der zusätzlichen Belastung des Patienten, weitere Komplikationen und Schmerzen mit sich führen. Die primären Donorstellen (Unterarm) stellen aufgrund der Beweglichkeit der Hand und des schlecht vaskularisierten Wundgrundes kein optimales Transplantatbett dar und gehen somit oftmals mit dem Problem der hohen Entnahmemorbidität einher. Hierbei können Sehnenfreilegungen, Wundheilungsverzögerungen bis hin zu Transplantatabstoßungen beobachtet werden.

Ziel dieser Studie war es, eine standardisierte und minimalinvasive Methode der epidermalen Hauttransplantation, nach unserem Wissen erstmalig, zur Verbesserung der Defektdeckung von Entnahmestellen des Radialislappens auf ihre Effektivität und klinische Relevanz hin zu untersuchen.

Diese Methode (CelluTome™ System, KCI), basierend auf dem Suction-Blister-Verfahren, wurde bereits im Rahmen klinischer Fallstudien bei Patienten mit diabetischen Fußulzera, Dyspigmentierungen nach Verbrennungen, Vitiligo und rezidivierenden nicht heilenden Wunden erfolgreich angewandt.

Für genanntes Verfahren wurden in der hier vorliegenden klinischen Studie 10 Patienten eingeschlossen. Diese bekamen nach vollständiger Granulation des Wundbettes am Unterarm, mit Hilfe des CelluTome-Systems, ein epidermales Micrograft von der Oberschenkelinnenseite, ohne Einsatz von Anästhetika, auf den Unterarm transplantiert. Von den kleinen, auf den Unterarm platzierten epidermalen Zellnestern (Microdomes) geht dann eine Wundheilungsreaktion aus. Bei regelmäßigen und klinisch standardisierten Nachuntersuchungen wurden Faktoren wie Funktionalität, Ästhetik, Wundheilung, subjektives Schmerzempfinden sowie Dauer des Eingriffs bewertet.

In der Literatur werden diverse alternative Verfahren zur Versorgung der Donorregion nach Radialislappenentnahme beschrieben. Ziel ist es hierbei die Nachteile der Standardverfahren zu umgehen. Um diese alternativen Techniken in einem wissenschaftlichen Rahmen und hinsichtlich definierter Parameter untereinander, im Vergleich zu den Standardverfahren und der hier erprobten Methode zu vergleichen, wurde des Weiteren eine systematische Literaturrecherche durchgeführt.

Der primäre Verschluss und die lokale Lappenplastik können als Mittel der Wahl bezeichnet werden. Sie sind jedoch durch die Wundflächengröße limitiert. Möglichkeiten der Wundflächenverkleinerung, der Hautexpansion – auch non-invasiv (wenn die Zeit bis zur Operation überbrückt werden kann), der Herstellung eines geeigneten Wundbettes (Sehnenbedeckung mit Muskelbäuchen oder auch die suprafasziale Entnahme) sollten gemäß Literaturrecherche durchaus in Betracht gezogen werden.

Vorteile des automatisierten Suction-Blister Verfahrens sind die Umgehung eines zweiten operativen Eingriffs unter Narkosebedingungen sowie eine Zeit- und Kostenersparnis. Mittels Strukturschablone und Saugwirkung wird die gleichmäßige Entnahme von Epidermistransplantaten und somit der Verzicht auf eine anschließende Transplantatbearbeitung ermöglicht. Es zeigte sich, dass der ambulant durchführbare Eingriff sowohl für den Patienten als auch für den Arzt angenehmer zu gestalten ist. Die Patienten empfanden die Behandlung als schmerzarm bis schmerzfrei. Bei allen Patienten konnte eine hohe Zufriedenheit, eine suffiziente Epithelialisierung an der Akzeptorstelle mit guten funktionellen und moderaten ästhetischen (im Vergleich zu Vollhauttransplantaten) Ergebnissen beobachtet werden. Es entsteht eine minimale Wunde an der Donorstelle am Oberschenkel, welche keine sekundäre Deckung benötigt und bei Bedarf eine mehrmalige Entnahme zulässt. Sie weist ein hervorragendes Ergebnis auf, ohne eine weitere Narbe zu hinterlassen. Nachteilig ist jedoch der über mehrere Wochen protrahierte Wundheilungsverlauf am Arm, welcher das Wundinfektionsrisiko steigert und eine höhere Compliance der Patienten voraussetzt. Diese Nachteile gelten, bei ähnlich guten Resultaten, ebenso für allodermale Transplantate, die aber zudem eine hohe Anforderung an die Herstellung bzw. Lagerung und bei Komposittransplantaten gar einen weiteren Eingriff mit iatrogen erzeugter Wunde aufweisen.

Das in dieser Studie vorgestellte Verfahren stellt sich somit im klinischen Alltag als Kompromisslösung dar, jedoch auch als suffiziente Alternative zu den bislang beschriebenen Methoden der Wunddeckung.

Summary

Due to their anatomical and aesthetic characteristics, microsurgical grafts from the ventral forearm are a good option for reconstructing complicated tissue defects in the oral and maxillofacial region. Until now, the plastic coverage of soft tissue defects has been carried out invasively after the removal of microvascular-stemmed forearm flaps (radial forearm free flaps), using full-thickness or split-thickness skin grafts from the upper arm, thigh and groin regions in narcosis. These secondary donor sites usually require wound care under anaesthesia and can lead to further complications and pain in addition to the additional strain on the patient. The primary donor sites (forearm) do not represent an optimal graft bed due to the mobility of the hand and the poorly vascularised wound bed and are therefore often associated with the problem of high rate of morbidity. Tendon exposure, wound healing delays and even graft rejection can be observed.

The aim of this study was to investigate the effectiveness and clinical relevance of a standardised and minimally invasive method of epidermal skin grafting, to our knowledge the first of its kind, for improving defect coverage of radial flap harvest sites.

This method (CelluTome™ System, KCI), based on the Suction-Blister procedure, has already been successfully applied in clinical case studies in patients with diabetic foot ulcers, dyspigmentation after burns, vitiligo and recurrent non-healing wounds.

For this clinical trial, 10 patients were included. After complete granulation of the wound bed on the forearm, an epidermal micrograft was transplanted from the inner thigh to the forearm with the help of the CelluTome-system, without the use of anaesthesia. The small epidermal cell nests (microdomes) placed on the forearm, then trigger a wound healing reaction. In regular and clinically standardised follow-up examinations, factors such as functionality, aesthetics, wound healing, subjective pain sensation and duration of the procedure were evaluated.

Various alternative procedures for the treatment of the donor region after radial flap harvest are described in the literature. The aim is to avoid the disadvantages of the standard procedures. In order to compare these alternative techniques in a scientific framework and with regard to defined parameters with each other, in comparison to the standard procedures and the method tested here, a systematic review was also carried out.

Primary closure and local flap plasty can be described as the methods of choice. However, they are limited by the size of the wound area. Possibilities of wound area reduction, skin expansion - also non-invasive, the creation of a suitable wound bed (tendon covering with muscle bellies or suprafascial harvesting) should definitely be considered according to the present literature.

Advantages of the automated Suction-Blister system are the avoidance of a second surgical procedure under anaesthesia as well as time and cost savings. By means of the structural template and the suction effect, the uniform removal of epidermis grafts is made possible and thus the subsequent graft treatment can be dispensed with. The procedure, which can be performed on an outpatient basis, was found to be more comfortable for both the patient and the doctor. The patients found the treatment to be painless. A high level of satisfaction, sufficient epithelialisation at the acceptor site with good functional and moderate aesthetic (compared to full-thickness skin grafts) results were observed in all patients. A miniature wound is created at the donor site on the thigh, which does not require secondary coverage and allows for multiple harvesting if required. An excellent result without leaving another scar has been achieved. The disadvantage, however, is the protracted wound healing process on the arm over several weeks, which increases the risk of wound infection and requires greater compliance on the part of the patient. These disadvantages, with similarly good results, also apply to allodermal grafts, which, however, have a high requirement for production and storage and, in the case of composite grafts, even a further intervention with an iatrogenically produced wound.

The method presented in this study is therefore a compromise solution in clinical practice, but also a sufficient alternative to the methods of wound coverage described so far.

Abkürzungsverzeichnis

ADL	<i>Activities of daily living</i>
ADM	<i>Acellular dermal matrix</i>
ALT	<i>Anterolateral thigh flap</i>
BMI	<i>Body-Mass-Index</i>
BDM	<i>Bovine dermal matrix</i>
CDM	<i>Cadaveric dermal matrix</i>
FTSG	<i>Full thickness skin graft, Vollhautlappen</i>
G	<i>Gauge (Maßeinheit für den Außendurchmesser von Kanülen)</i>
MeSH	<i>Medical Subject Heading</i>
MHOQ	<i>Michigan Hand Outcome Questionnaire</i>
MKG	Mund,- Kiefer- und Gesichtschirurgie
MRSA	<i>Methicillin-resistenter Staphylococcus aureus</i>
NaCl	Natriumchlorid (physiologische Kochsalzlösung)
obj.	objektiv
PEC	Plattenepithelkarzinom (<i>squamous cell carcinoma</i>)
POSAS	<i>Patient and observer scar assessment scale</i>
red.	reduziert
RFFF	<i>Radial forearm free flap, radialer Unterarmlappen</i>
ROM	<i>Range of wrist motion</i>
SBEG	<i>Suction Blister epidermal grafting, "Saugblastechnik" zur epidermalen Hauttransplantation</i>
sign.	signifikant
SPD	<i>subatmospheric pressure dressing, Unterdruckverband</i>
STSG	<i>Split thickness skin graft, Spalthautlappen</i>
subj.	subjektiv
UA	Unterarm
UBTF	<i>Ulnar-based transposition flap</i>
V.A.C. -Therapie	<i>Vacuum Assisted Closure-Therapie;</i> → <i>Synonym: Negative pressure wound therapy (NWPT), Unterdruck-</i> <i>Wundtherapie</i>
VAS	Visuelle Analogskala
VSS	<i>Vancouver Scar Scale</i>
Y	<i>Year, Jahr (J)</i>
Z.n.	Zustand nach

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Einführung in die Deckung von Weichteildefekten	1
1.2	Aufbau der Haut	1
1.3	Deckung orofazialer Weichteildefekte mittels mikrovaskulären Gewebetransplantaten im Hinblick auf den radialen Unterarm (Radialislappen): Indikationsbereich, Vorteile und einhergehende Problematiken	3
1.4	Versorgung der sekundären Wunde am ventralen Unterarm im Hinblick auf die Reduktion der hohen Entnahmemorbidität	5
1.4.1	Lappenhebung	6
1.4.2	Behandlung des Wundbettes und postoperative Wundheilungsförderung	7
1.4.3	Defektdeckung am ventralen Unterarm nach Radialislappenentnahme	8
1.5	Vergleich der standardmäßig genutzten freien Hauttransplantate zur Deckung der Akzeptorstelle nach Radialislappenentnahme	11
1.6	Epidernale Hauttransplantate (<i>Micrografting</i>)	12
1.7	Weitere Möglichkeiten der Defektdeckung	14
1.8	Ziele der Arbeit	15
2	Material und Methoden	17
2.1	Klinische Studie	17
2.1.1	Patienten	17
2.1.2	Studiendesign	17
2.1.3	Untersuchungsmaterialien Gerät – Beschreibung und Anwendung	18
2.1.4	Dokumentation	21
2.1.5	Statistische Methoden	25

2.2	Systematisches Review	26
2.2.1	Hintergrund	26
2.2.2	Erörterung der Fragestellung.....	26
2.2.3	Literaturrecherche	26
2.2.4	Suchstrategie und Literatúrauswahl	28
2.2.5	Dokumentation	29
3	Ergebnisse	30
3.1	Deskriptive statistische Ergebnisse aus klinischer Studie	30
3.2	Systematische Literaturrecherche	36
3.2.1	Deskriptiv zu primärer Wundflächendeckung am ventralen Unterarm.....	37
3.2.2	Deskriptiv zu Gewebeexpansion	42
3.2.3	Deskriptiv zu Wundflächenreduktion	44
3.2.4	Deskriptiv zu allogenen, xenogenen und alloplastischen Transplantaten	45
3.2.5	Deskriptiv zu Vakuum-assistiertem Wundverschluss	51
3.2.6	Deskriptiv zu Nahlappenplastiken	53
3.2.7	Deskriptiv zu freien und entfernten Eigenhauttransplantaten (FTSG, STSG).....	59
4	Diskussion	66
5	Literatur- und Quellenverzeichnis	85
6	Anhang	95

1 Einleitung

1.1 Einführung in die Deckung von Weichteildefekten

Im Allgemeinen können Wunden unter anderem nach Entfernung von Tumoren, nach Verbrennungen, nach primären Hauttransplantationen aber auch durch Infektionen oder durch chronische Wunden entstehen. Hierbei dienen Hauttransplantate dem sekundären Verschluss von Wundflächen, die ohne weiteres nicht verheilen können. Für die Wunddeckung werden autologe Transplantate wie zum Beispiel freie, lokale oder vaskularisierte Eigenhauttransplantate von allogenen, alloplastischen und xenogenen Transplantaten unterschieden.

Da es sich bei Defekten im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich um ein ästhetisch und funktionell hoch anspruchsvolles Areal bei der Wundversorgung handelt, müssen bei der Auswahl des Verfahrens mehrere Faktoren berücksichtigt werden. Hierzu zählen die Sicherheit des Eingriffs, die Qualität des Endergebnisses und der Aufwand, so dass oftmals nur eine Kompromisslösung zugelassen werden kann [2]. Aufgrund ihrer hervorragenden anatomischen Eigenschaften finden vaskularisierte Eigenhauttransplantate für solch komplexe Bereiche (unter anderem für den MKG-Bereich mit hoher funktioneller und ästhetischer Anforderung, aber auch für Phalloplastiken) ihren Einsatz. Die anschließende Versorgung dieser Donorstelle stellt dann oftmals eine große Herausforderung dar. Dies gilt insbesondere nach der häufig angewandten Radialislappentransplantation vom ventralen Unterarm, da es sich einerseits um eine exponierte und funktionell höchst sensible Region handelt und andererseits aufgrund des beweglichen und wenig vaskularisierten Wundbettes ein diffiziles Transplantatlager darstellt. Eine ausführliche Beschreibung der möglichen Transplantate wird in Kapitel 1.4 - unter besonderer Berücksichtigung der Versorgung von Radialislappentnahmestellen - gegeben.

1.2 Aufbau der Haut

Um die unterschiedlichen Hauttransplantate und Methoden der Defektdeckung beziehungsweise die Wundheilung zu veranschaulichen, wird hier eine kurze Übersicht über den Aufbau der Haut gegeben. Bei der Haut handelt es sich mit 1,5 - 2 m² um das größte menschliche Organ, sie ist je nach Lokalisation und damit einhergehender Belastung 1,5 - 4 mm dick. Sie wird grob in 3 Schichten mit unterschiedlicher Zusammensetzung und Funktion eingeteilt (s. Abb. 1). Die äußerste Schicht ist die Epidermis, gefolgt von der Dermis und der darunterliegenden Subkutis [3].

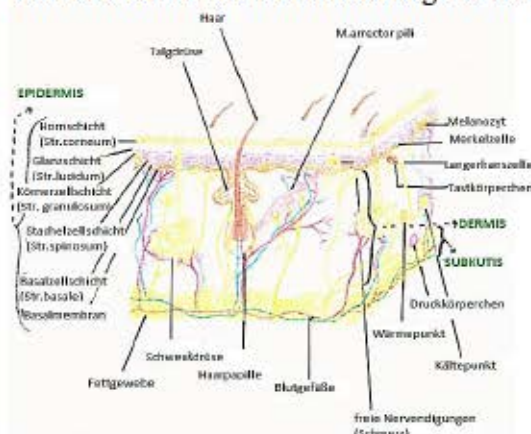


Abb. 1: Schematischer Hautaufbau. Eigene Zeichnung in Anlehnung an „Layers of the Skin“ von philschatz.com, *Anatomy and Physiology*, [4].

Epidermis:

Bei der Epidermis handelt es sich um ein mehrschichtig-verhornendes Plattenepithel, welches unterteilt wird in das innere Stratum basale, den aufliegenden Schichten Stratum spinosum, Stratum granulosum und dem äußeren Stratum corneum. Hauptbestandteile sind die sogenannten Keratinozyten, welche im Stratum basale aus Stammzellen hervorgehen und bis in das Stratum corneum dringen [5, 6]. Hierbei erfahren sie eine Wandlung in ihrem Aussehen und ihrer Funktion. Im Stratum corneum angelangt, sind vor allem kernlose Keratinozyten vorzuweisen, welche primär dem mechanischen Schutz dienen. Diese Hornschicht ist an Hand- und Fußflächen besonders stark. Die Epidermis unterliegt einer ständigen Erneuerung, wobei die Stammzellen eine tragende Rolle bei der Epithelregeneration spielen. Diese Ausreifung der Keratinozyten kann circa 4 - 6 Wochen dauern. Neben den Keratinozyten und den entlang der Basalmembran lokalisierten Melanozyten, Langerhanszellen (Immunzellen) und den Merkelzellen sind auch Nervenfasern zu finden, jedoch keine Blut- oder Lymphgefäße. Daher muss die Versorgung über die darunterliegende gefäßreiche Dermis erfolgen.

Junktionszone:

Die Grenzfläche zwischen der Epidermis und der Dermis wird als dermo-epidermale Junktionszone bezeichnet und ist durch eine dünne sogenannte Basalmembran gekennzeichnet. Diese Membran besteht aus 2 Schichten. Die Lamina lucida ist der Epidermis zugewandt und mit dieser über Hemidesmosomen und Ankerfilamente verbunden. Die der Dermis über Ankerfibrillen angelegte Schicht wird als Lamina densa bezeichnet.

Dermis:

Die mittlere, auch als Korium oder auch Lederhaut bekannte Hautschicht bildet das Gerüst der Haut und ist ausschlaggebend für deren Elastizität und Reißfestigkeit. Sie wird unterteilt in 2 Schichten, welche aus kollagenem Bindegewebe und elastischen Fasern bestehen. Das äußere Stratum papillare, welches durch die in ihr enthaltenen Zellen und Gefäße eine nutritive Funktion übernimmt und das Stratum reticulare, welches Haarfollikel, Talg- und Schweißdrüsen enthält.

Subkutis:

Die Subkutis, auch Unterhautfettgewebe genannt, besteht aus läppchenartigem Fettgewebe, welches von Bindegewebssepten durchzogen ist. Somit dient diese Schicht der Wärmeisolation, dem mechanischen Schutz, der Verschieblichkeit der Haut und der Energiespeicherung.

1.3 Deckung orofazialer Weichteildefekte mittels mikrovaskulären Gewebetransplantaten im Hinblick auf den radialen Unterarmlappen (Radialislappen): Indikationsbereich, Vorteile und einhergehende Problematiken

Welche Form des Transplantates indiziert ist, wird individuell auf den jeweiligen Patienten ausgerichtet und ist unter anderem abhängig von Faktoren wie der „Größe des Defektes (Fläche und Volumen)“ und „Lokalisation des Defektes (Haut/Schleimhaut)“. Berücksichtigt werden zudem die „ästhetische Bedeutung der Region“, die „funktionelle Wertigkeit“ des zu versorgenden Bereiches (zum Beispiel die Zunge), die „Beschaffenheit der Empfängerregion (zum Beispiel Zustand nach Radiatio)“ und der Allgemeinbefund des Patienten (zum Beispiel Alter, Nikotin- und Alkoholabusus, Diabetis mellitus-insulinpflichtig, kardiopulmonale Insuffizienz) [7].

Im Rahmen der plastisch-rekonstruktiven Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, welche die Basis für diese Studie darlegt, sind die Anforderungen an die Transplantate besonders hoch, da primär iatrogen sowie krankheitsbedingt entstandene Oberflächendefekte (innere wie äußere) im Kopf-Hals-Bereich versorgt werden müssen, mit dem Ziel eine ästhetische, aber auch funktionelle Wertigkeit hinsichtlich Artikulation, Mastikation und Deglutition zu erlangen [2]. Ab einer gewissen Defektgröße hat sich in der orofazialen Tumorchirurgie die freie mikrochirurgische Transplantation etabliert. Hierbei dienen bei flachen intraoralen Schleimhaut- beziehungsweise Weichteildefekten historisch gesehen der Fußrückenlappen, das Jejunumtransplantat und aktuell der Unterarmlappen zur Deckung. Alternativen wie der Anterolaterale Oberschenkellappen (ALT), werden aufgrund ihres größeren Volumens bevorzugt bei großflächigeren Defekten angewandt. Vorteil hierbei ist, dass insbesondere bei dünnen ALT, ein primärer Verschluss nach der Transplantatentnahme oftmals ermöglicht werden kann und keine relevante Arterie - wie die Arteria radialis - entnommen werden muss [8]. Obwohl dessen Entnahmestelle weniger Komplikationen aufweist und in einem weniger sichtbaren Gebiet besser toleriert wird, ist eine sprachliche und ästhetische (Haare, dickere Hautqualität am Oberschenkel) Beeinträchtigung und eine leicht erschwerte Entnahme im Vergleich zum Radialislappen zu vermerken. Dennoch bleibt in der Literatur oftmals die statistische Relevanz dieser Unterschiede aus, sodass die Entscheidung für eine Methode oftmals patientenbezogen und je nach Behandlerexpertise zu treffen ist [9],[10],[11],[12].

Ersterer, auch als Dorsalis-pedis-Lappen bezeichnet, wurde bereits 1975 von *McCraw* und *Furlow* beschrieben und ein Jahr später durch *Ohmori* und *Harii* zum mikrovaskulären Transplantat weiterentwickelt [13]. Hohe Gefäßvariationen, die funktionell belastete Entnahmeregion am Fuß und die erschwerte Lappenhebung schränken die Anwendung des Verfahrens jedoch ein, weshalb es heutzutage nicht mehr verwendet wird. Das Dünndarmtransplantat, erstmals durch *Seidenberg* im Jahre 1958 angewandt, kann als Methode der Wahl zur Rekonstruktion von Defekten des Oropharynx, aber auch der Mundhöhle selbst dienen, da es sich insbesondere bei großflächigen und schwierig lokalisierten Defekten an die Mundhöhlenbedingungen anpasst. Das Jejunum-Transplantat besitzt jedoch eine potenziell hohe Entnahmemorbidity und das Problem des Zwei-Höhlen-Eingriffes. Folglich ist es insbesondere in Bereichen mit hoher mechanischer Belastung (zum Beispiel Zahnprothese) nicht zu empfehlen [14].

Da die plastisch-rekonstruktive Chirurgie in oben genanntem Gebiet besonders anspruchsvoll ist, bietet es sich an, hierfür das autologe zu transplantierende Weichgewebe, aufgrund seiner Beschaffenheit und Eigenschaften vorzugweise vom nicht dominanten ventralen Unterarm zu entnehmen. Dieses

mikrovaskuläre und meist fasziokutane Unterarmtransplantat (Radialislappen) wurde intraoral erstmalig 1986 durch *Soutar* und *McGregor* angewandt und zunächst aufgrund der hohen Anforderung an die Operationstechnik wenig genutzt. Angesichts der zahlreichen Vorteile, konnte es dennoch mittlerweile als Standardverfahren etabliert werden [15, 16].

Im Gegensatz zu anderen Lappenplastiken (zum Beispiel lokale Lappenplastiken, muskelgestielte Transplantate, arterialisierter Hautlappen), wird das Transplantat stets mit seiner Gefäßversorgung vollständig von der Donorstelle gelöst. Die Entnahme kann hierbei entweder mit der Faszie oder auch ohne die Faszie erfolgen. Mittels Gefäßchirurgie erfolgt anschließend die Integration des Transplantates in die Empfängerregion. Durch die mitgeführte Gefäßversorgung der Arteria radialis wird dieses Transplantat als radialer Unterarmklappen, als Radialislappen oder auch aufgrund seiner erstmaligen Anwendung 1978 in China ebenfalls als „*Chinese flap*“ [17],[18] bezeichnet.

Da die Arteria radialis eine starke Gefäßwand besitzt und nur wenige Variationen aufweist, ist sie besonders gut für eine Transplantation und eine erleichterte Gefäßadaptation geeignet [19],[18]. Durch ihre langen, weitlumigen und kaliberstarken Gefäße (Arterie 2 - 3 mm und Venen 3 - 4 mm) ist sie robust, gut innerviert und gut an die Gefäße im Bereich des Nackens adaptierbar [20, 21]. Durch die Lage ist sie zudem leicht zugänglich und kann somit den operativen Eingriff vereinfachen, nicht zuletzt aufgrund der Möglichkeit der zeitgleichen Entnahme und Eingliederung des Transplantates durch zwei Operationsteams [22],[23],[14],[24]. Der lange Gefäßstiel des Unterarmklappens ermöglicht zudem den kontralateralen Gefäßanschluss auch nach *radikaler Neck dissection*. Die Möglichkeit der freien Transplantatentnahme unterliegt somit keiner Einschränkung durch den „Rotationsradius“, welcher zum Beispiel im Falle der gestielten Transplantate vorzufinden ist. Dies stellt ebenfalls eine Vereinfachung der Transplantation und eine bessere Anpassung an die Empfängerregion dar [14]. Durch die zeitgleiche Transplantation der Gefäßversorgung (Arteria radialis) und die damit einhergehende autonome Versorgung der Eigenhaut, kann effektiv das Risiko der Transplantatabstoßung durch Minderperfusion im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich reduziert werden.

Ogleich die Arteria radialis entnommen wird, kann durch die arteriellen Quervernetzungen des Unterarms zudem eine ausreichende Blutversorgung des Unterarms gewährleistet werden, welche neben der Durchblutung der Hand ebenfalls die Funktionsfähigkeit und Ernährung des sekundären Transplantates sicherstellt. Die Unbedenklichkeit der Radialislappenentnahme sollte jedoch zuvor mittels des sogenannten Allen-Tests sichergestellt werden, welcher kollaterale Durchblutungswege auf Stenosierungen prüft [25].

Weitere Vorteile der mikrovaskulären Lappenentnahme vom ventralen Unterarm für Akzeptorstellen im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich sind die wenig behaarte Donorstelle und die dünne Hautschicht aufgrund des geringen Anteils an subkutanem Fett, wodurch eine hohe Formbarkeit ermöglicht wird. Dies hat zum einen funktionell positive Auswirkungen, zum Beispiel auf den Schluckakt nach einer Zungenteilresektion [17] und kommt zum anderen ebenfalls durch die Hautqualität den hohen ästhetischen Anforderungen im sensiblen Kopfbereich am nächsten. Auch nach Bestrahlung weist der radiale Unterarmklappen eine mechanisch höhere Belastbarkeit auf als andere mit ihm konkurrierende Verfahren. Diese Resistenz ist zum Beispiel bei anschließender Belastung durch Zahnprothesen von großer Bedeutung.

Der Radialislappen hat sich mit seiner Einführung 1978 in China (*Yang et al.*) [18] durch seine, wie oben bereits beschriebenen zahlreichen ästhetischen und funktionellen Vorteile im Rahmen der chirurgischen Rekonstruktion im orofazialen Bereich zu einem Standardverfahren mit großer Wichtigkeit etabliert [26]. Aber auch in weiteren funktionell und ästhetisch sensiblen Bereichen der

operativen Medizin ist der Radialislappen als Methode der Wahl bekannt, wie zum Beispiel im Rahmen der Geschlechtsumwandlung (Phalloplastik) [27].

Um keinen limitierenden Faktor für den Einsatz des oben genannten Verfahrens darzustellen, bedarf die anschließende Versorgung der Entnahmestelle am Unterarm einer besonderen Aufmerksamkeit [28].

Nachteilig bei der Entnahme des Unterarmlappens ist die transponierte Entnahmeregion, welche ästhetisch auffällig ist und somit einen hohen Anspruch bei der sekundären Defektdeckung besitzt. Da die Hand eine hohe funktionelle Wertigkeit im Alltag aufweist, muss hier ebenfalls darauf geachtet werden, dass keine Gleithindernisse oder narbige Schrumpfungen bei der Wundheilung die Beweglichkeit der Hand einschränken.

Ebenso wird in der Literatur oftmals die Notwendigkeit einer sekundären Deckung mittels der herkömmlichen Verfahren, wie die der Spalthaut- oder auch Vollhauttransplantation, als nachteilig genannt. Hierbei werden bei den Spalthauttransplantaten die Epidermis und ein unterschiedlich dicker Anteil der Dermis mitgeführt, welche bevorzugt aus dem Oberschenkel oder auch der Leistenregion operativ entnommen und transplantiert werden. Vollhauttransplantate hingegen beinhalten die Epidermis und alle Anteile der Dermis und verursachen eine erneute Wundfläche, die meist an der Oberarminnenseite, in der Leistenregion aber auch am Unterbauch erzeugt wird. Diese iatrogen entstehenden Wunden bedürfen wiederum einer adäquaten Versorgung, welche ebenfalls unter Narkosebedingungen erfolgt und mit Komplikationen, Wundheilungsstörungen und Schmerzen einhergehen kann.

Das Wundbett am Unterarm wird aufgrund der freiliegenden Sehne, des wenig vaskularisierten Areals, dem oftmals geringen Anteil an Granulationsgewebe und der hohen Beweglichkeit als ungünstige Empfängerregion beschrieben. Dies gilt im Besonderen für die dünneren Spalthauttransplantate [29]. Aufgrund des für die Hauttransplantate ungünstigen Wundbettes am Unterarm ist demnach mit einer erhöhten Entnahmemorbidity zu rechnen, wobei diese als unterschiedlich stark ausgeprägt dargestellt wird [30, 31]. Beschrieben wurden funktionelle und kosmetische Defizite, welche insbesondere bei Spalthauttransplantaten zu beobachten sind, bis hin zum Verlust von Transplantaten. Hiermit gehen die Freilegung der Sehnen und die daraus resultierende Restriktion der Sehnengleitbewegung beziehungsweise Beweglichkeit der Handgelenke einher. Zudem sind ein verzögerter Heilungsverlauf, eine verringerte Nervempfindung teilweise mit Kälteintoleranz und muskulären Defiziten, aber auch starke Hyperpigmentationen zu beschreiben [28, 31-33]. Es gilt diese Nachteile anzugehen, um möglichst keinen limitierenden Faktor für dieses ansonsten im klinischen Alltag essenzielle Verfahren darzustellen.

1.4 Versorgung der sekundären Wunde am ventralen Unterarm im Hinblick auf die Reduktion der hohen Entnahmemorbidity

Wie auch bereits *Ito et al.* herausgestellt haben, sollte der Deckung des Entnahmedefektes genauso viel Gewichtung gewidmet werden wie der Deckung der primären Wunde im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich [28]. Bislang erfolgt die Deckung des Weichteildefektes am ventralen Unterarm aufgrund guter Ergebnisse mittels Vollhauttransplantaten, Spalthauttransplantaten und als ultima ratio mit Hilfe lokaler Lappenplastiken. Jedoch ist hierbei die hohe Belastung des Patienten aufgrund eines erneuten invasiven Eingriffs, die Größe der hinterbleibenden Narbe, die limitierte Donorstellenverfügbarkeit,

aber auch die hohe Entnahmemorbidität am Unterarm als problematisch anzusehen, welche oftmals mit Sehnenfreilegungen, Mobilitätseinschränkungen bis hin zu Transplantatabstoßungen einhergeht. Da die mikrovaskuläre Chirurgie mittels Radialislappen jedoch im Rahmen der plastisch-rekonstruktiven Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie eine tragende Rolle spielt, wurden auf diesem Gebiet weitere Operationstechniken hinsichtlich der Lappenhebung, der Wundflächenvorbereitung, der postoperativen Versorgung und der Deckung der Donorstelle zur Verbesserung der Defektdeckung erprobt.

1.4.1 Lappenhebung

Das bei der Radialislappenentnahme iatrogen erzeugte Wundbett ist für die erfolgreiche Transplantateinheilung und somit für die Reduzierung der Entnahmemorbidität essenziell. Daher ist bei der Lappenhebung darauf zu achten, keine für die Heilung notwendigen anatomischen Strukturen zu verletzen. Als wünschenswert gilt in der Literatur im Allgemeinen ein immobiles, gut granuliertes und gut vaskularisiertes Empfängerbett, um eine möglichst komplikationsarme Heilung des Transplantates zu ermöglichen [34]. In der Chirurgie werden hierbei zwei Methoden der Radialislappenhebung unterschieden: die subfasziale und die suprafasziale Lappenhebung. Je nachdem welches Verfahren Anwendung findet, bleibt ein unterschiedlich aufgebautes Transplantatbett mit unterschiedlichem Heilungsmuster an der Akzeptorstelle bestehen.

Die subfasziale Lappenhebung, das heißt die Entnahme des Radialislappens mitsamt der darunterliegenden Faszie, welche zuerst von *Yang et al.* 1979 beschrieben worden ist, hat sich überwiegend etabliert und stellt ebenso wie an dem Universitätsklinikum der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (Abteilung für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie) das Standardverfahren bei der Entnahme des Radialislappens dar. In der Literatur wird dieses Verfahren der Lappenhebung als mögliche Ursache für die erhöhte Entnahmemorbidität noch kontrovers diskutiert. Laut *Schaverien et al.* ist der Grund für die bevorzugte subfasziale Lappenhebung die Idee, dass die Faszie für die Ernährung beziehungsweise Lebensfähigkeit des Radialislappens notwendig sei. Diesen Gedanken untersuchte er im Rahmen einer anatomischen Studie und stellte fest, dass die Faszie einen zu gering ausgeprägten Plexus besitzt und somit keine positive Auswirkung auf die Gefäßversorgung des Transplantates hat [35]. *Schwarzer et al.* untersuchten diese beiden Methoden der Lappenhebung miteinander und stellten fest, dass es zwar bei der suprafaszialen Lappenhebung, das heißt bei Belassen der Fascia antebrachii auf dem Wundbett, bezogen auf die Entnahmemorbidität einige leichte Vorteile gibt, diese jedoch nicht signifikant seien und man daher beide Methoden gleichermaßen anwenden kann [19].

Andere Autoren wie *Shonka et al.* konnten nach Spalthauttransplantationen mit jeweils vorangegangener sub- beziehungsweise suprafaszialer Lappenhebung keinerlei Transplantatabstoßung oder auch zeitliche Vorteile verzeichnen. Jedoch wurden Vorteile bei der suprafaszialen Lappenhebung bezogen auf die Sehnenexposition und die Hämatombildung festgestellt [36]. Eine Schonung der Nervenfasern, der tiefen Faszie und der Bedeckung der subfaszial lokalisierten Muskulatur und Sehnen bei der suprafaszialen Lappenhebung, können gemäß *Lutz et al.* und *Chang et al.* Grund für bessere Ergebnisse bezüglich der Morbiditätsrate sein [37],[38]. *Lutz et al.* konnten bei 94% der sekundären Deckungen nach Radialislappenentnahme, vorrangig mittels Spalthauttransplantaten, eine komplette Heilung feststellen. Andere Untersuchungen konnten zudem zeigen, dass bei einer suprafaszialen Lappenhebung mit Transplantation eines sogenannten „sheet grafts“ (STSG) im Vergleich zu „meshed-grafts“ (fenestrierte und dehbare Spalthauttransplantate) oder auch zur subfaszialen Lappenhebung die besten Ergebnisse hinsichtlich Funktion, Ästhetik und Sehnenfreilegung erreicht werden [39]. Auch bei bevorzugter Anwendung von Vollhauttransplantaten konnten bei der suprafaszialen Lappenhebung eine

schnellere Wundheilung, weniger Verbandswechsel und weniger Wundkontraktion festgestellt werden [40].

Verlusten von Transplantaten nach suprafaszialer Lappenhebung werden mit 4% - 6% angegeben [40],[37]. Im Vergleich hierzu gaben *Richardson et al.* bei der subfaszialen Lappenhebung und anschließender Deckung mithilfe eines Spalthauttransplantates eine Transplantatverlustrate von 16 % und *Bardsley et al.* im Rahmen einer retrospektiven Studie sogar von 28 % an [31],[32].

Die suprafasziale Lappenhebung, trotz höherem Bedarf an Präzision bei der Entnahme, umgeht demnach viele Faktoren wie die Sehnenadhäsion, Mobilitätseinschränkungen, Sensibilitätsstörungen und kann durch das gut vaskularisierte Wundbett eine Reduktion der Transplantatabstoßungen ermöglichen [37, 38]. Da die Sehnen und die Muskulatur am Unterarm durch die ständige Kontraktion eine Ruhigstellung des Wundbettes erschweren, kann hier ebenfalls durch die dünne Faszie ein Schutz und eine bessere Transplantateinheilung gefördert werden [37, 40]. Dennoch bleibt die Hebungstechnik noch umstritten [19],[41].

1.4.2 Behandlung des Wundbettes und postoperative Wundheilungsförderung

Ein weiterer Ansatz, der das Problem der Entnahmemorbidität lösen soll, ist die Schaffung eines gut granulierten, trockenen und infektfreien Wundbettes zur Aufnahme des Transplantates beziehungsweise einer Wundheilungsförderung postoperativ.

Um insbesondere für die dünneren Spalthauttransplantate ein geeigneteres Wundbett zu bilden, beschrieben *Fenton* und *Roberts* eine einfache Methode zur Überlagerung der Sehne am Unterarm (Flexor carpi radialis) mit Fasern der benachbarten Muskulatur (Musculus flexor digitorum superficialis, Musculus flexor pollicis longus), was die Transplantatabstoßungen reduzieren konnte [42, 43].

Argenta und *Morykwas* (Bowman Gray Medical Center Department of Plastic Surgery) haben 1989 die sogenannte SPD-Therapie (*subatmospheric pressure dressing*) entwickelt. Diese auch als V.A.C.-Therapie (*Vacuum Assisted Closure*, Kinetic Concepts Inc.; San Antonio, Texas) bekannte Methode arbeitet mit Unterdruck und sorgt laut *Morykwas et al.* für einen gesteigerten Blutfluss, Reduktion von Ödemen, Säuberung mit Reduktion der Bakterienzahl und eine Koadaptation der Wundränder [44]. Alle diese Faktoren führen demnach zu einer beschleunigten Granulierung und Epithelialisierung des Wundbettes. Hierbei sollte gemäß *Greer et al.* beachtet werden, dass die Sehnen vor der Anwendung des SPD einem Wunddebridement unterzogen werden sollten, da nekrotisches Gewebe auf diese Wundbettvorbehandlung sonst nicht reagiert. Im Sinne einer Vorbehandlung der Wundfläche oder auch einer postoperativen Versorgung, kann diese Methode somit bei richtiger Anwendung zu einer Wundheilungsbeschleunigung, zu einer verbesserten Wundbettpräparation aber auch postoperativ zu weniger Wundheilungsstörungen führen, wobei das Risiko der Austrocknung, die Gefahr der Bildung eines Lecks und die erhöhten Kosten zu berücksichtigen sind [45],[46],[47],[48]. Infizierte, blutende und maligne Wunden sollten gemäß *Jones et al.* von dieser Therapieform ausgeschlossen werden [49].

In der Literatur konnten einige Autoren keine signifikanten Vorteile aufzeigen, wohingegen andere wiederum von schneller und vollständiger Wundheilung ohne Hämatombildung und Druckstellen (durch den Druckverband) im Vergleich zu den Gruppen ohne Anwendung der Unterdruck erzeugenden Systeme berichten [40, 50-52]. Es konnte herausgestellt werden, dass bei einer postoperativen Anwendung von 6 oder mehr Tagen keinerlei Sehnenfreilegung im Gegensatz zu einer kürzeren Applikation vorzufinden war [53].

1.4.3 Defektdeckung am ventralen Unterarm nach Radialislappenentnahme

Um die nach Radialislappenentnahme entstehende Wunde am Unterarm zu decken, um möglichen Infektionen vorzubeugen, aber auch um dahinterliegende Strukturen wie Muskulatur, Sehnen und Faszien kosmetisch und funktionell adäquat zu schützen, gibt es verschiedene Möglichkeiten der Wunddeckung. Oftmals geht die Wunddeckung mittels Standardverfahren jedoch mit Komplikationen einher, wie zum Beispiel einer protrahierten Wundheilungsdauer, insuffizienter Wundheilung mit unter Umständen einhergehender Sehnenexposition oder gar Transplantatabstoßung, Kälteintoleranz, Sensibilitätsverlust (wenn auch laut *Kerawala et al.* selten) bis hin zu narbigen Schrumpfungen [33, 54]. Als Grund für die hohe Entnahmemorbidität wird in der Literatur, wie oben bereits beschrieben, unter anderem das schlecht vaskularisierte Transplantatbett am Unterarm benannt [55]. Zudem handelt es sich bei der Entnahmestelle des Radialislappens um eine auffällige und funktionell viel und stark beanspruchte Entnahmeregion, die zwar durch ihre Lokalisation gut zugänglich ist, jedoch durch ihre hohe Sehnengleitbewegung die Transplantateinheilung erschwert und sowohl kosmetisch als auch funktionell einen hohen Anspruch an das Operationsverfahren beziehungsweise Operationsteam stellt.

Neben dem bereits oben genannten Problem der hohen postoperativen Entnahmemorbidität, welche es zu senken gilt, um das Risiko einer Transplantatabstoßung möglichst gering zu halten, stellen die Standardverfahren zur Transplantation durch den zweiten operativen Eingriff, einhergehend mit einer erneuten Narkose und einer sekundären schmerzenden Wunde, eine hohe Belastung des Patienten dar [37]. Diese sekundären Wunden sind laut *Kanapathy et al.* oftmals mit einem langwierigeren Heilungsprozess vergesellschaftet und insbesondere nach Entnahme von Spalthauttransplantaten häufiger mit einem erhöhten Infektionsrisiko und damit einem protrahierten Heilungsverlauf verbunden [56].

Einen weiteren Aspekt stellt die sogenannte „*limited donor site*“ Problematik dar, bei der durch die eingeschränkte Verfügbarkeit der Spenderhaut zur Deckung der Wunde am Unterarm - insbesondere bei Vollhaut - dem Verfahren Grenzen gesetzt werden [34]. Dies gilt vornehmlich bei erforderlichem Wiederholen des Eingriffs oder auch bei ausgedehnten Defekten. Die herkömmlichen Verfahren wie die der Vollhaut- und Spalthauttransplantation, liefern trotz oben genannter Nachteile gute Resultate. Dennoch gehen sie mit einem erhöhten zeitlichen als auch verfahrenstechnischen Aufwand und erhöhten Kosten aufgrund des benötigten Personals, des operativen Eingriffs mit der dazugehörigen Vor- und Nachbereitung des Operationssaals und des Patienten (zum Beispiel Narkose), aber auch der anschließenden stationären Aufnahme einher [37, 57]. Diese Faktoren limitieren die Einsatzmöglichkeiten der oben genannten Verfahren, insbesondere bei multimorbiden Patienten.

Gemäß *Biswas et al.* ist ein ideales Transplantat sofort und unlimitiert verfügbar, dauerhaft, löst keine Immunreaktion aus und weist eine geringe Morbidität auf [34]. Des Weiteren sind ein schnelles, hohes funktionelles und ästhetisches Ergebnis bei weitestgehend wenig invasivem (ohne sekundären Eingriff und Narbe) und komplikationsarmen Eingriff wünschenswert. In der Literatur sind daher unterschiedlichste Verfahren beschrieben worden, die bestrebt sind möglichst viele dieser Eigenschaften bei der Versorgung des Weichgewebsdefektes nach Radialislappenentnahme abzudecken. Um einen kurzen Einblick in die vielen Möglichkeiten der Defektdeckung zu gewinnen, sind im Folgenden vorab die gebräuchlichsten Methoden zunächst in Kürze beschrieben.

In Kapitel 3 und 4 werden diese im Detail verglichen und diskutiert. Maßgeblich hierfür ist eine systematische Literaturrecherche, welche Vor- und Nachteile diverser in der Literatur beschriebener Verfahren und Modifikationen gegenüber konventioneller Vollhaut- und Spalthauttransplantate, aber auch gegenüber den Ergebnissen aus der vorliegenden klinischen Studie zur automatisierten epidermalen

Hauttransplantation nach Radialislappenentnahme herausstellen soll. Ziel war es somit diese Methoden, im Hinblick auf die Reduktion der Entnahmemorbidität und auf die Verbesserung der Ergebnisse an Akzeptor- und Donorstelle, auf ihre klinische Relevanz hin zu prüfen.

Primärer Wundverschluss:

In der Literatur wird der primäre Wundverschluss, zum Beispiel durch Hautverschiebung unter anderem nach modifizierter Radialislappenentnahme, als gewünschte Maßnahme beschrieben, da weniger Komplikationen auftreten und ein hohes ästhetisches Endergebnis in der Regel beobachtet werden kann [58]. Da es sich jedoch oftmals um großflächigere Wunden mit unterschiedlich ausgeprägtem subkutanen Fettgewebe handelt, aber auch die Hautqualität der Patienten hierbei eine große Rolle spielt (Hautelastizität) ist diese Methode nicht standardmäßig anwendbar [43].

Um das Problem der Hautquantität an der Donorstelle zu lösen, wurden Versuche zur Hautexpansion erprobt. *Bergé et al.* stellten ein autonomes Verfahren der Hautexpansion mittels osmotisch aktivem Hydrogel-Expander vor. Dieser bezweckte Nachteile der herkömmlichen Silikon-Expander wie zum Beispiel Infektionen, postoperatives Befüllen des Expanders und starken Druckanstieg mit Hypoxie nach Injektion der Flüssigkeit zu beseitigen. Als problematisch stellte sich jedoch heraus, dass neben der notwendigen Compliance des Patienten für eine zwar autonome aber kontrollierte Hautexpansion, die präoperative Hautexpansion in der Regel mit mindestens 20 Tagen eine zu lange Wartezeit bis zur orofazialen Rekonstruktion von Defekten nach einer Tumoresektion darstellt [59]. In Fällen, in denen es einer schnellen Therapie bedarf, ist oftmals jedoch diese Zeit nicht gegeben.

Hallock et al. nutzten hingegen den Zeitpunkt der Lappenhebung für die Insertion eines Silikon-Expanders in die Region des dorsalen Unterarms für einen späteren Wundverschluss [60]. Diese aufwendige Methode ging jedoch einher mit den oben bereits genannten Nachteilen. Andere intraoperativ genutzte Systeme, wie die forcierte Hautexpansion mit primärem Wundverschluss nach Radialislappenentnahme, erzielten hierbei zufriedenstellende Ergebnisse bezogen auf Zeit und Aufwand, Funktionalität und Ästhetik [58]. Auch nicht-invasive Hautexpansionsverfahren mithilfe von „Tapes“ wurden in der Literatur beschrieben, welche unter Umständen zwar keine ausreichende Hautquantität garantieren können und bei geringer Hautelastizität in der Effektivität fraglich sind, jedoch eine verkleinerte Wundfläche herstellen können [61].

Eine verkleinerte zu deckende Wundfläche kann im Allgemeinen, speziell ebenso nach einer Radialislappenentnahme hilfreich sein, um die Entnahmemorbidität zu reduzieren, eine bessere Ästhetik zu erreichen, aber auch um weniger Eigenhaut zur Defektdeckung zu transplantieren. Somit kann eine kleinere iatrogen erzeugte und zu versorgende Wundfläche auch mittels Nahttechniken erstrebenswert sein [62],[63].

Lokale Lappenplastiken/Nahlappenplastik:

Bei der sogenannten lokalen Lappenplastik wird der zu transplantierende Lappen aus dem benachbarten Gewebe genutzt. Dieser kann im Gegensatz zu den freien Hauttransplantaten aus weiter entfernten Regionen, falls erwünscht, seine Gefäßanbindung zur Donorstelle (gestielter Lappen) beibehalten. Bei einer Nahlappenplastik in einem tumorös befallenen Gebiet sollte jedoch zuvor histologisch eine Tumorfreiheit des umliegenden Gewebes untersucht werden. Um eine zweite Wunde bei der Entnahme eines Transplantates aus einer entfernteren Region zu verhindern, wie dies bei Spalt- und Vollhauttransplantaten üblich ist, aber auch um sich die funktionellen und ästhetischen Vorzüge der

Vollhauttransplantate zunutze zu machen, haben *Chambers et al.* die von *Liang* 1994 bereits vorgestellte Methode der ipsilateralen Vollhauttransplantation modifiziert [55]. Hierbei wird mittels V-Y-Plastik, angrenzend an den Entnahmedefekt des Radialislappens, ein Vollhauttransplantat entnommen, welches auf die angrenzende Wunde aufgebracht wird. Diese Methode brachte gute Ergebnisse hervor und kann bei Defektgrößen von bis zu 8 cm x 6 cm angewandt werden. *Juretic et al.* hingegen bedienten sich eines Insellappens aus dem ulnaren Unterarmbereich und konnten eine exzellente Heilung beobachten [17]. Da im Gegensatz zu den entfernten freien Lappenplastiken, die lokalen Hauttransplantate aus der unmittelbaren Umgebung genutzt werden, sind diese bezogen auf Parameter wie Farbe, Dicke, Behaarungstyp zwar wesentlich überlegen, jedoch sind sie nur begrenzt verfügbar [29, 64]. Wenn ein Erhalt der Verbindung zu der Donorregion bestehen bleibt, ist eine sichere Blutzufuhr ebenfalls gewährleistet, die somit das Risiko einer Transplantatabstoßung verringern kann. Limitierende Faktoren für diese Technik sind zum einen eine zu straffe und derbe Hautqualität, aber auch großflächige Akzeptorstellen. Diese erschweren folglich die Deckung der Donorstelle und stellen eine Indikation für die Anwendung von dehnbaren Spalthauttransplantaten (*Mesh-grafts*) dar [65].

Freie Eigenhauttransplantate:

Je nach Dicke der entnommenen Dermisanteile werden die freien Hauttransplantate eingeteilt in die sogenannten Thiersch-Lappen mit einer Dicke von bis zu 0,3 mm, welche nur aus der obersten Hautschicht (Epidermis) bestehen. Weiterhin unterscheidet man die mitteldicken Spalthauttransplantate [0,4 - 0,5 mm Dicke], die dicken Spalthauttransplantate [0,6 mm Dicke] und die Vollhauttransplantate [$> 0,6$ mm Dicke] [66]. Die Dicke der Vollhauttransplantate ist darin begründet, dass diese zusätzlich zu der Epidermis alle Dermisanteile enthalten, wohingegen Spalthauttransplantate aus der Epidermis und einem unterschiedlich dicken Dermisanteil bestehen.

Eine Sonderform der Spalthauttransplantate stellt das 1964 von *James C. Tanner* entwickelte Netztransplantat, auch *Mesh-graft* genannt, dar. Hierbei wird das entnommene Transplantat auf eine Folie gelegt und mittels einer Messerwalze mit einem rautenförmigen Schnittmuster versehen. Sie ermöglicht einerseits einen besseren Wundsekretaustritt und zum anderen eine dreifache Vergrößerung des Transplantates, weshalb es häufig bei großflächigen Wunden wie zum Beispiel bei Verbrennungen genutzt wird [67].

Bei noch größeren Defekten, welche vorwiegend bei Patienten mit großflächigen Verbrennungen auftreten, kann die Deckung mittels der sogenannten *Meek*-Transplantation erfolgen. Hierbei wird die entnommene Spalthaut mit Hilfe von Korkplatten und speziellem Seidentuch auf ein bis zu 9-faches vergrößert. Diese Variante erbrachte bislang zufriedenstellende Resultate [68], die mit nur einer sehr geringen Menge an Haut für großflächige Wunden auskommt. *Klosová et al.* beschreiben, dass *Mesh-grafts* bei einer Expansion auf das dreifache zusätzlich noch ein Allograft oder auch ein Xenograft zur Deckung benötigen. Bei der *Meek*-Transplantation wäre hingegen erst ab einer sechsfachen Dehnung dies von Nöten [68].

Das folgende Bild (Abb. 2) dient der Veranschaulichung der Schnittebenen konkurrierender Verfahren.

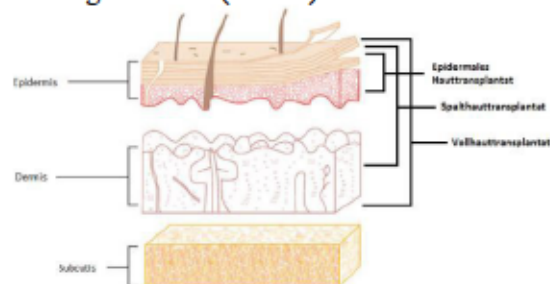


Abb. 2: Schnittebenen konkurrierender Verfahren. CelluTome Monograph, mit freundlicher Genehmigung der Firma KCI, [69].

1.5 Vergleich der standardmäßig genutzten freien Hauttransplantate zur Deckung der Akzeptorstelle nach Radialislappenentnahme

Die Spalthaut- und die Vollhauttransplantation werden beide als Goldstandardmethoden bei der Defektdeckung nach Radialislappenentnahme bezeichnet und aufgrund guter ästhetischer und funktioneller Ergebnisse bevorzugt angewandt. Die dünneren Transplantate benötigen tendenziell kürzere Einheilungszeiten, wobei eine größere Schrumpfungseignung im Gegensatz zu Vollhauttransplantaten zu beobachten ist. Aufgrund der hohen Schrumpfung und der gelblich-grünlichen Farbe sollten diese im Allgemeinen vorzugsweise keine Anwendung bei Wunddefekten in ästhetisch sensiblen Bereichen wie im Gesicht Anwendung finden.

Im Vergleich zwischen Vollhaut- und Spalthauttransplantaten bestechen erstere somit durch eine bessere Ästhetik im Sinne einer geringeren Vernarbung, Pigmentierung, und einer geringeren Schrumpfungseignung. Durch die Dicke mehrschichtiger Transplantate besteht der Vorteil einer größeren mechanischen Belastbarkeit und der Sehnenbedeckung [57, 70]. Das funktionelle Ergebnis in beiden Fällen kann als prinzipiell gleich gut bewertet werden, wobei eine erhöhte Schrumpfungseignung, wie dies im Falle einer Spalthauttransplantation vermehrt vorzuweisen ist, zu funktionellen Einschränkungen führen kann. Hierzu zählen zum Beispiel eine eingeschränkte Handmobilität oder auch im Allgemeinen im Gesichtsbereich eine eingeschränkte Mundöffnung [71].

Beide Transplantationsverfahren erfordern in der Regel einen erneuten Eingriff unter Vollnarkose, da zum Zeitpunkt der Entnahme des Radialislappens kein ausreichend granulierter und vaskularisierter Wundgrund als Transplantatbett gegeben ist [72, 73]. Dieser ist jedoch unerlässlich für eine erfolgreiche Transplantateinheilung, da bei der freien Hauttransplantation ein gut granulierter und infektfreier Wundgrund die Revaskularisation erleichtert. Ebenso werden spezifische Risiken wie Wundinfektionen und Wunddehiscenzen weitestgehend vermieden. Jedoch besteht auch dann noch das Restrisiko einer Transplantatabstoßung.

Letztlich hinterlassen beide Verfahren eine tertiäre Wunde, welche (insbesondere bei Spalthauttransplantaten) mit Schmerzen für den Patienten und zusätzlichen Komplikationen in der Behandlung einhergehen kann. Unter anderem können durch den erhöhten intra- und postoperativen Aufwand bei dadurch notwendiger stationärer Aufnahme zusätzliche Kosten erfolgen. Die gleichmäßige Entnahme einer Hautschichttiefe von der Donorstelle stellt, vor allem bei einer Vollhautentnahme, eine Schwierigkeit dar und bedarf einer hohen Präzision bei erhöhtem Zeitaufwand. Bei der Herstellung von Spalthauttransplantaten bedient man sich eines Dermatoms, welches eine ebenmäßige Hautentnahme ermöglichen soll [74]. Vollhauttransplantate werden mittels Skalpell spindelförmig exzidiert und anschließend vorsichtig ohne Nervschädigung manuell bearbeitet, um das Fettgewebe zu entfernen [55].

Donorstellen nach Vollhauttransplantaten bedürfen einer Deckung in der Regel in Form von primärem Wundverschluss, da durch die Entnahme aller Dermisanteile eine Reepithelialisierung nahezu vollständig unterbunden wird. Die Ausdehnung des zu versorgenden Wundbettes stellt folglich eine Indikationseinschränkung für Vollhauttransplantate dar. Bei großflächigeren Defekten ist aufgrund der limitierten Verfügbarkeit von Vollhaut die Transplantation von Spalthaut üblich. Die Donorstellen nach Entnahme von Spalthauttransplantaten regenerieren in der Regel autonom, wobei diese oftmals eine auffällige Entnahmestelle hinterlassen [75, 76]. Hier werden in der Literatur zudem eine verlängerte Wundheilungsdauer, Blutungen, Wundinfektionen, Juckreiz und Vernarbungen beschrieben. Daher

bedürfen Donorstellen nach einer Spalthauttransplantation einer vermehrten Nachsorge und Verbandswechseln [32, 77-79].

Bei Vollhauttransplantaten wird dieser zweite Donordefekt meistens an der Oberarminnenseite oder auch am Unterbauch oder der Leiste gewählt, wohingegen Spalthauttransplantate bevorzugt von der Oberschenkelvorderseite entnommen werden [80]. *Van der Lei et al.* haben hierzu eine Methode vorgestellt, welche sich der positiven Eigenschaften der Vollhauttransplantate bedient, jedoch auf ein zweites invasives Verfahren verzichtet, indem ein dreieckiges Vollhauttransplantat angrenzend an den Unterarmdefekt transplantiert wird [81].

In der folgenden Tabelle werden die unterschiedlichen Verfahren der freien Hauttransplantation im Allgemeinen, hinsichtlich Faktoren wie Einheilungstendenz, Schrumpfungseignung, ästhetischem Ergebnis sowie Kosten und Eingriffsmodalitäten zusammenfassend gegenübergestellt.

	Einheilungstendenz	Schrumpfungseignung	Ästhetisches Ergebnis	Kosten	Eingriffsmodalität
Epidermis-transplantat	+++	++++	-	+	-ambulant -ohne Narkose
Spalthaut-transplantat	++	++	+/-	+++	-Vollnarkose -i.d.R. stationär
Vollhaut-transplantat	+	-	+++	++	-Vollnarkose -i.d.R. stationär

Tabelle 1: Tabelle zum Vergleich der freien Eigenhauttransplantate. Aufgeführte Parameter wie Einheilungs- und Schrumpfungseignung und ästhetisches Ergebnis in Anlehnung an „Curriculum Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Chirurgie Band III“ [71] und Ergänzungen bezüglich Kosten und Eingriffsmodalitäten gemäß der Universitätsklinik Düsseldorf.

Legende: + = gut bzw. hoch (je nach Anzahl Steigerungsform), - = schlecht bzw. gering

Einheilung der freien Hauttransplantate:

Da die freien Transplantate ohne Gefäßanschluss transplantiert werden, muss die Ernährung in den ersten 48 Stunden über die plasmotische Zirkulation, das heißt durch die Diffusion von Wundsekreten aus dem darunterliegenden Weichgewebe erfolgen. Nach circa 5 - 6 Tagen ist die anschließende Revaskularisierung vollendet, wobei der genaue Vorgang noch nicht eindeutig geklärt ist [82]. Zum einen kann die Revaskularisierung durch „*kissing anastomosis*“, also Anastomosen zwischen Gefäßen des Transplantates und denen des Wundbettes oder auch durch eine Neovaskularisation („echte Gefäßneubildung“) erfolgen [2]. Für eine gute und rasche Einheilung sind daher ein gut vaskularisiertes Wundbett, eine enge Anlagerung des Transplantates mit stabiler Fixierung und eine ausreichende Ruhigstellung in den ersten Tagen von größter Bedeutung. Die Einheilung der Vollhauttransplantate ist im Vergleich zu Spalthauttransplantaten aufgrund ihrer Dicke bedenklicher und macht daher die Versorgung mit einem Überknüpfverband für über 10 Tage unerlässlich [2]. Bei Spalthauttransplantaten werden aufgrund der dünneren Hauttransplantatstärke jedoch ebenso oftmals Probleme mit Transplantatabstoßung („*fail over the flexor carpi tendon*“) und Sehnenadhäsion beschrieben [59].

1.6 Epidermale Hauttransplantate (*Micrografting*)

Bei Anwendung der weiter unten (Kapitel 1.7) genannten alloplastischen, allogenen, gezüchteten und xenogenen Transplantate können einige Nachteile der oben beschriebenen konventionellen Verfahren umgangen werden. Hierzu zählen die unlimitierte und sofortige Verfügbarkeit, das Entfallen des sekundären Eingriffs unter Vollnarkose und die Entstehung einer sekundären zu versorgenden Wunde

(wenn keine Kompositransplantate Verwendung finden), die mit Schmerzen einhergehen kann. Zudem kann bei Einsatz nicht-autologer Transplantate das Problem der limitierten Donorstellenverfügbarkeit gelöst werden. Jedoch sind zum einen das Risiko von Abstoßungsreaktionen mit Transplantatverlust, aber auch die hohen Kosten und die speziell benötigten Laboratorien zu berücksichtigen [83].

Ein Verfahren, welches sich nur einer geringen Menge an autologem Gewebe zur Defektdeckung bedient und ebenfalls die oben genannten Nachteile der herkömmlichen, als auch der alternativen Verfahren umgeht, ist das der epidermalen Hauttransplantation. Hierbei wird im Gegensatz zu den Standardverfahren nur die oberste Hautschicht, die Epidermis, mitsamt seiner Keratinozyten und Melanozyten von der Donorstelle entnommen. Diese Zelltypen sind für die erforderliche Reepithelialisierung und die Repigmentierung an der Akzeptorstelle notwendig. Das sogenannte *Micrografting*, beziehungsweise *Suction-Blister-Verfahren*, ist hierbei eine minimalinvasive Methode der Epidermisentnahme. Dabei wird mittels Unterdruck die Epidermis von der Dermis gelöst, um diese anschließend auf den Wundbereich zu transplantieren. Da bei der Epidermistransplantation die Schmerzfasern aus der Dermis unberührt bleiben, empfinden die Patienten nur wenig Schmerz [56]. Zudem erfolgt die Wundheilung schnell und ohne erhöhtes Infektionsrisiko, da nur eine kleine oberflächlich und selbst regenerierende Wunde verbleibt. Diese Faktoren führen somit zu einer Umgehung eines zweiten operativen Eingriffs unter Narkose und anschließenden Schmerzen aufgrund einer sekundär entstehenden Wunde [83]. Insbesondere bei multimorbiden oder immunsupprimierten Patienten, aber auch in Fällen, in welchen ein rascher und ambulanter Eingriff essenziell ist, ist die Epidermistransplantation indiziert.

Geschichte der epidermalen Hauttransplantation bis heute:

Bereits im Jahre 1869 ging der Schweizer Chirurg *Jaques-Louis Reverdin* dieser Überlegung nach, indem er kleine Stücke an Vollhauttransplantaten, auch bekannt als „*pinch grafts*“ zur Defektdeckung entnahm [84]. Erweitert wurde diese Methode im Jahre 1914 durch *John Staige Davis* [84, 85]. Dieses erweiterte Verfahren bezeichnete er als „*small deep skin grafts*“, welches zum Ziel hatte, ein der ursprünglichen Hautcharakteristika ähnelndes Endresultat zu erreichen. Ein Nachteil dieses Verfahrens war jedoch, dass durch die Entnahme von kleinen Vollhauttransplantaten die Donorstelle nicht mehr für spätere Entnahmen zur Verfügung stand. Zudem wurde für eine ausreichende Epithelialisierung noch zu viel Transplantationsgewebe benötigt, so dass Wundflächen nur bis 4,6 cm² zu versorgen waren [86].

Es folgten zahlreiche weitere Ansätze zur mikrodermalen Transplantation. Zum Beispiel die durch *von Mangoldt* durchgeführte Streuung epidermaler Hautpartikel in das Wundbett [87] oder auch die Gabe von pulverisierter epidermaler Haut unter das Granulationsgewebe (*Reschke-Greifswold*) [88]. Alle diese Methoden fanden keinen allgemeinen Zuspruch aufgrund funktioneller und kosmetischer Defizite bei gleichzeitig nicht standardisierbarem und aufwendigem Verfahren, so dass die Spalthauttransplantation beziehungsweise die *Mesh-grafts* bevorzugt Anwendung fanden.

Basierend auf diesen länger bekannten Methoden und ihren Nachteilen, wurde versucht ein systematisiertes Verfahren zur gleichmäßigen Entnahme und Transplantation zu entwickeln. Bereits 1943 beschrieb *Gabarro* eine Technik, die einer kleineren Menge an Hauttransplantat bedurfte. Durch mehrmaliges Zurechtschneiden wurden kleine Quadrate erzeugt und anschließend auf die Akzeptorstelle aufgebracht [89]. Dieses sogenannte „*Patch/Postage Stamp Graft*“ wurde jedoch bald mit der Einführung der Dermatome zur gleichmäßigen Entnahme und Formatierung von *Mesh-grafts* ersetzt.

Das Dermatom, entwickelt von *C. Parker Meek*, diente der Produktion kleiner Hautinseln mit einem Durchmesser von 1,58 mm für eine anschließende gleichmäßige Transplantation [90].
Erstmals beschrieben *Kiistala und Mustakallio* 1964 ein nicht immunogenes und minimalinvasives Verfahren namens „*Suction Blister epidermal grafting*“ (SBEG) [91]. Hierbei wollten sie das Problem der ungleichmäßigen und unzuverlässigen Epidermisablösung von der Donorstelle behandeln. Sie fanden heraus, dass bei einem Unterdruck von 200 mmHg über zwei Stunden eine zuverlässige Ablösung der epidermalen Schicht mitsamt der Basalzellschicht erreicht wurde. In der Literatur konnten gute Resultate bei Patienten mit Leukoderma, Hypopigmentierung, Vitiligo, chronischen Beinulzera und nicht heilenden Wunden beschrieben werden [92-96].

Zur Entnahme, im Rahmen des *Suction-Blister*-Verfahrens, bediente man sich verschiedener Utensilien wie Spritzen, Saugpumpen und Saugnäpfen, um die Haut anzuheben, welche dann anschließend manuell mittels Skalpell oder einer Irisschere von der Donorstelle gelöst werden musste [83]. In der Literatur gibt es nicht nur unterschiedliche Angaben bezüglich der Verfahrenstechnik, sondern auch bezogen auf die Dauer der epidermalen Blasenherzeugung. *Yamaguchi et al.* nutzten beispielsweise Spritzen und einen Dreivegehahn bei Patienten mit therapieresistenten Beinulzera zur epidermalen Blasenbildung. Nach einer Stunde Unterdruckerzeugung konnte das Epidermistransplantat manuell mittels Skalpell von der Donorstelle gelöst werden [92]. *Burm et al.* untersuchten im Jahre 2007 Patienten mit Dyspigmentierungen nach Verbrennungen, bei denen die epidermale Blasenbildung 3 - 4 Stunden andauerte [93]. Ebenfalls *Costanzo und Braathen* nutzten im Jahre 2008 das autologe *Suction-Blister*-Verfahren zur Therapie von chronischen Beinulzera. Sie bedienten sich hierbei einer speziellen Saugvorrichtung bestehend aus einer Öl-Vakuumpumpe, einem Manometer und Gummischläuchen, welche über Saugnäpfe (mit jeweils 5 - 40 Öffnungen pro Seite) an die Donorstelle angebracht wurden. Auch hier belief sich die Zeit der Anwendung des Unterdrucks auf 2 - 3 Stunden [94].

Bislang fand die epidermale Hauttransplantation, trotz ihrer vielen Vorteile, keinen hohen Zuspruch im klinischen Alltag, da dieses Verfahren mit einer nicht standardisierbaren, aufwendigen und zeitintensiven Entnahme einherging. Das in dieser Arbeit vorgestellte minimalinvasive und systematisierte *Suction-Blister*-Verfahren (Cellutome-System, Acelity, San Antonio, Texas, USA) arbeitet mit Wärme (37° - 41°) und negativem Unterdruck (-400 mmHg bis -500 mmHg). Dieses standardisierte System ermöglicht eine sichere, ambulant durchführbare, kostengünstige, schmerzarme, schnelle (circa 30 - 45 Minuten) und gleichmäßige Epidermisentnahme von 5 cm x 5 cm. Durch die mehrmalig mögliche Anwendung und die schnelle Regeneration der Donorstelle, können auch großflächigere Defekte gedeckt werden [97],[98],[99]. Hiermit zielt das System darauf ab durch die Vereinfachung des Verfahrens vermehrt Aufmerksamkeit auf die Epidermistransplantation zu lenken.

1.7 Weitere Möglichkeiten der Defektdeckung

Um einen erneuten Donordefekt wie bei den oben bereits beschriebenen Verfahren zu vermeiden und die damit zusätzlich verursachte körperliche Belastung, aber auch Schmerzen zu verringern, wurden diverse Methoden beschrieben.

Lokale Granulation:

Der spontane Wundverschluss bei offenen Wunden in Form einer lokalen Granulation ist nicht empfehlenswert, da er langsam erfolgt und hinsichtlich funktioneller und ästhetischer Charakteristika durch narbige Schrumpfung beziehungsweise periphere Epithelialisierung gezeichnet ist [43].

Allogene, xenogene und alloplastische Transplantate:

Allogene Transplantate, zum Beispiel das AlloDerm® (LifeCell Corporation, Branchburg, NJ, USA), werden Transplantate genannt, die von einem Individuum derselben Spezies stammen, jedoch im Gegensatz zu isogenen Transplantaten, wie im Falle von eineiigen Zwillingen, genetisch nicht identisch sind [100]. Xenogene Transplantate werden solche genannt, die von Individuen einer anderen Spezies stammen. Hierbei werden oftmals porcine (zum Beispiel Rapiderm®) oder auch bovine (zum Beispiel Matriderm®) Spender gewählt. In der Literatur konnten gute funktionelle und ästhetische Ergebnisse bei geringer Morbiditätsrate verzeichnet werden [101, 102]. Hierbei gilt es dennoch die protrahierte Wundheilungsdauer und die erhöhten Kosten zu beachten. Zur Lösung des Problems der limitierten Donorstelle, wurden 1980 Untersuchungen in China durchgeführt, um größere Verbrennungswunden bei möglichst geringer Entnahme von Eigenhauttransplantat zu decken [103]. Hierzu kombinierte man die oben genannten Verfahren (Allograft und Xenograft) mit Spalthaut. Auch in der Literatur konnten bei den Komposittransplantaten, auch als „sandwich phenomenon“ bezeichnet, tendenziell bessere Resultate als bei der alleinigen Nutzung von FTSG, STSG oder Fremdtransplantaten beobachtet werden. Diese gehen jedoch bei additiver Eigenhauttransplantation mit einer weiteren Narben und unter Umständen einem zweiten operativen Eingriff einher [72, 103-106].

Das Infektionsrisiko und die Möglichkeit einer Abstoßungsreaktion gilt es zu beachten, da es sowohl bei den allogenen als auch bei den xenogenen Transplantaten, auch wenn kaum bekannt, zu Fremdkörperreaktionen kommen kann [104]. Synthetische Materialien (alloplastische Transplantate) sind im Gegensatz hierzu vorteilhaft durch ihre Sterilisierbarkeit, das Ausbleiben einer Immunogenität, ihre unbegrenzte Verfügbarkeit, ihre gute Lagerungsmöglichkeit und nicht zuletzt ihre Wirtschaftlichkeit. Beispiele hierfür sind das teils xenogene Biobrane® (UDL Laboratories, Inc., Rockford, IL, USA) oder die Terudermis® (Terumo Co., Tokyo, Japan), welche durch Umwandlung von Kollagen (Kalb) in Atelokollagen durch ein Enzym gewonnen werden konnte [107].

Tissue engineering:

Die Gewebezüchtung, auch *Tissue engineering* genannt, bezeichnet die Transplantation von autologen Zellen, welche durch eine Biopsie gewonnen werden und anschließend auf unterschiedlichen Trägermaterialien „in einem speziellen Kulturmedium unter Verwendung des Patientenserums“ gezüchtet und mit diesen Trägermaterialien auch transplantiert werden [108].

Diese Methode hat den Vorteil durch das Anzüchten der Zellen große Wunden versorgen zu können, ohne eine sekundäre zu versorgende Wunde zu verursachen. Da es sich hierbei um ein aufwendiges Verfahren handelt und es speziell dafür ausgerüsteter Laboratorien bedarf, zählt dieses Verfahren noch nicht als Mittel der Wahl.

1.8 Ziele der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist den nach der Radialislappentransplantatentnahme entstandenen Donordefekt mittels Epidermistransplantaten, welche mithilfe eines minimalinvasiven und systematisierten *Suction-Blister*-Verfahrens (Cellutome-System, Acelity, San Antonio, Texas, USA) entnommen werden, zu decken. Dieses klinische Verfahren soll prospektiv hinsichtlich definierter Parameter auf ihre Effektivität geprüft werden. Die in dieser Studie vorgestellte Methode der automatisierten autologen Epidermistransplantation wurde bislang insbesondere zur Behandlung von Patienten mit diabetischen

Fußulzera, chronischen oder therapieresistenten Zehen- bzw. Beinulzera [92, 94, 109-111] angewandt. Auch bei Veränderungen der Haut, wie im Falle von Dyspigmentierungen nach Verbrennungen [93], bei nicht-dermatomaler und segmentaler Vitiligo [95, 96, 112-114] oder auch bei der Behandlung des chronisch diskoiden Lupus erythematodes [115] konnte dieses Verfahren genutzt und in der Literatur beschrieben werden. Zu unserem jetzigen Kenntnisstand ist dies die erste Arbeit, die sich mit der Defektdeckung nach Radialislappenentnahme mit epidermalen Hauttransplantaten beschäftigt, welche durch das automatisierte *CelluTome*-System gewonnen werden.

Bisher erfolgt die Deckung von Weichteildefekten nach Entnahme von radialem Unterarmklappen bevorzugt und meist zweizeitig durch Voll- oder Spalthauttransplantate unter Narkosebedingungen. Da diese Verfahren trotz ihrer guten funktionellen und ästhetischen Resultate einige Nachteile aufweisen und das sogenannte Problem der „*limited donor site skin*“ [34] zu beachten ist, wurden in der Literatur alternative Methoden beschrieben. Diese fanden jedoch oft aufgrund diverser Gründe wie hohe Kosten, spezielle Laboratorien, hoher zeitlicher Aufwand, Abstoßungsreaktionen, unzuverlässige, limitierte und nicht standardisierbare Anwendung bisher keinen weiteren Zugang in den klinischen Alltag.

Um im Rahmen dieser Arbeit eine objektive Aufstellung der vorliegenden Datenlage zum Thema „Alternative Möglichkeiten der Defektdeckung am ventralen Unterarm nach Radialislappenentnahme“ zu erzielen, wurde zudem ein systematisches Review durchgeführt. Ziel war es hierbei einerseits final die Ergebnisse aus inkludierten und aktuellen klinischen Studien zu vorliegender Thematik auf einer wissenschaftlich validen Basis miteinander, mit den Standardverfahren und letztlich mit den Ergebnissen aus unserer Studie im Hinblick auf ihren zukünftigen klinischen Einsatz beziehungsweise Vor- und Nachteilen vergleichen zu können. Andererseits sollte somit ebenfalls die Frage nach der Relevanz der automatisierten epidermalen Hauttransplantation am ventralen Unterarm im klinischen Alltag im Vergleich zu den Standard-, aber auch Alternativverfahren behandelt werden. Hierzu wurde eine Subgruppenanalyse unter besonderer Berücksichtigung bestimmter Aspekte durchgeführt.

Durch die automatisierte und vereinfachte Entnahme von Epidermistransplantaten soll dessen Bedeutung in der klinischen Praxis erhöht werden. Untersucht werden soll der Beitrag zur Reduktion der Entnahmemorbidität, um eventuell schnellere, funktionell und ästhetisch klinisch akzeptable Ergebnisse zu den herkömmlichen Verfahren (Spalthaut- oder Vollhauttransplantation) zu erzielen. Die sich bietende Möglichkeit einen zweiten operativen Eingriff unter Narkosebedingungen vermeiden zu können, macht solche Eingriffe ambulant möglich und reduziert unter Umständen die OP-Dauer sowie die OP-Kosten. Der Eingriff soll zudem für Patienten, insbesondere bei Multimorbidität, weniger belastend bei gleichbleibender Qualität gestaltet werden können. Auch für den Arzt und das Operationsteam soll aufgrund des körperlich, zeitlich, organisatorisch und technisch weniger aufwendigeren Eingriffs eine Entlastung erzielt werden. Somit ist die Indikation im klinischen Alltag im Besonderen bei multimorbiden Patienten, Risikopatienten bei erneuter Strapazierung durch Narkose, aber auch bei Patienten mit schnellem Behandlungsbedarf gegeben.

Im Gegensatz zu üblicherweise genutzten Eigenhauttransplantaten, die oftmals mit zusätzlichen Schmerzen und Komplikationen an der Donorstelle verbunden sind, entsteht hier nur eine minimale Wunde (Epidermisentnahme), die einer Schürfwunde ähnelt. Durch die minimalinvasive Transplantation der epidermalen Hautschicht entfällt die Notwendigkeit einer sekundären Deckung, sodass bei Bedarf die Entnahmestelle erneut als Spenderregion dienen kann (Lösungsansatz zum Thema begrenzte Verfügbarkeit der Haut an der Donorstelle). Zudem bewirkt die Saugwirkung des in dieser Studie angewandten Cellutome-Systems die gleichmäßigere Entnahme von Hautschichten. Daher kann diese Methode als zuverlässige und automatisierte Methode beschrieben werden, welche die manuelle Nachbearbeitung des Transplantates durch den Arzt nicht mehr erfordert.

2 Material und Methoden

2.1 Klinische Studie

2.1.1 Patienten

Die ethische als auch rechtliche Genehmigung für diese klinisch prospektive Studie wurde zuvor durch die Ethikkommission der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf erteilt. Die Nummer des erlangten Ethikvotums für diese Forschungsarbeit lautet 5093R.

Es wurden 10 Patienten eingeschlossen, Minimum 35 Jahre und Maximum 80 Jahre (Median 66,5 Jahre, Mittelwert 60,5 Jahre), hiervon 6 männlich, 4 weiblich. Behandelt wurden ausschließlich tumorös vorerkrankte Patienten (ausschließlich mit Plattenepithelkarzinomen im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich und in allen Fällen Zustand nach plastischer Rekonstruktion mittels mikroanastomosierten Unterarmklappen (Radialislappen)). Als Ausschlusskriterium wurden ein superinfizierter Entnahmedefekt und eine insuffiziente Wundbettgranulation (freiliegende Sehnen, sekretierende Wunde oder ein Mangel an Granulationsgewebe) definiert. Eine ausbleibende Wundheilung im Sinne einer offenen und nicht vollständig reepithelialisierten Wundfläche innerhalb von 4 Monaten wurde als Abbruchkriterium definiert.

2.1.2 Studiendesign

Zur Deckung der Entnahmestellen am ventralen Unterarm nach mikrochirurgischer Gewebetransplantation, wurden mit Hilfe des Cellutome-Systems (Acelity, San Antonio, Texas, USA) epidermale Hauttransplantate von der Oberschenkelinnenseite (5 x 5 cm²) entnommen.

Die Transplantation nach vollständiger Granulation des Wundbettes am Unterarm erfolgte mittels steriler Trägerfolie. Anschließend wurde ein Kompressionsverband für mindestens 5 Tage angelegt, welcher anschließend wöchentlich gewechselt wurde bis eine vollständige Epithelialisierung der Empfängerregion erfolgt war.

Die Schmerzen während des Eingriffs wurden anhand einer visuellen Analogskala (VAS), von 1 - 10 erfasst, wobei 1 für keine Schmerzen und 10 für nicht mehr ertragbare Schmerzen anzugeben war (s. Abb. 3).

Abb. 3: Visuelle Analogskala. VAS (1-10) zur Messung des subjektiven Schmerzempfindens an Donor- und Akzeptorstelle. CelluTome Monograph, Verwendung der Bilder erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Firma KCI, [69].

Der Heilungsverlauf wurde zum einen fotodokumentarisch, als auch schriftlich in Form eines vorgefertigten Fragebogens (s. Abb. 15), welcher zum Zeitpunkt des Eingriffs und im Rahmen der Kontrolluntersuchungen auszufüllen war, festgehalten.

Hierbei wurde insbesondere das funktionelle Ergebnis, das heißt die Beweglichkeit der Hand und gegebenenfalls neu aufgetretene Sensibilitätsstörungen, aber auch Wundgröße und das ästhetische Ergebnis gemäß Parametern wie Grad der Vernarbung, Entzündung und Pigmentierung beurteilt. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Wirtschaftlichkeit eines solchen ambulant durchgeführten Verfahrens. Vor diesem Hintergrund wurden der Zeitaufwand und die anfallenden Kosten aufgeführt.

2.1.3 Untersuchungsmaterialien Gerät – Beschreibung und Anwendung

Bei dem in dieser Studie angewandten Cellutome-System (Acelity, San Antonio, Texas, USA) (s. Abb. 4), handelt es sich um ein minimalinvasives Verfahren, welches mittels Saugwirkung (Unterdruck -400 bis -500 mmHg) und Wärme (37°C - 41°C) der gleichmäßigen epidermalen Hauttransplantation dient. Dieses Verfahren bedarf keiner Anästhesie oder Narkose und ist auch ambulant durchführbar. Es handelt sich hierbei um ein Mehrkomponenten-System, welches sich aus der Basisstation, dem Vakuumpopf und dem Harvester zusammensetzt.



Abb. 4: CelluTome™ System-zur epidermalen Hauttransplantation. CelluTome Monograph, Verwendung der Bilder erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Firma KCI, [69].

Bei dem in Abbildung 5 dargestellten Harvester (engl.: *to harvest* = ernten) handelt es sich um eine Strukturschablone, die der standardisierten Bildung und Entnahme der *Microdomes* (= epidermale Zellnester) dient. Diese Systemkomponente wird für jeden Patienten nur einmal genutzt, da es sonst zu Infektionen oder auch zu Wundheilungsstörungen führen könnte. Der Harvester wird zunächst an der zuvor desinfizierten und gegebenenfalls rasierten Oberschenkelinnenseite des Patienten über eine Oberschenkelmanschette angebracht. Mit Hilfe des verstellbaren Bandes kann der Harvester individuell an den Beinumfang des Patienten angepasst und fixiert werden. Hierbei war darauf zu achten, dass der Harvester gleichmäßig dem Hautareal anlag, um durch den Unterdruck eine möglichst einheitliche Hautschicht entnehmen zu können. Durch seine bereits vorgegebene Struktur ist zudem ein genormter Abstand bei der Entnahme der Hautinseln gewährleistet.

An diese Einmalkomponente des Systems wird der Vakuumpopf (s. Abb. 6) angebracht, welcher den regulierten „Unterdruck und [die] Wärme von der Basisstation auf den Harvester“ überträgt. Dies führt folglich zur Ausbildung der *Microdomes* [69].

Durch das kleine Fenster ventral am Vakuumkopf können die epidermalen Zellnester bei ihrer Entstehung beobachtet werden. Die Länge des Prozesses bis zur Erlangung der optimalen *Microdome*s unterliegt der visuellen Kontrolle und belief sich in dieser Studie je nach Patient auf 30 bis 45 Minuten. Die Basisstation (s. Abb. 7) produziert einen Unterdruck von -400 mmHg bis -500 mmHg und eine Wärme zwischen 37° C und 41°C.



Abb. 5: Harvester



Abb. 6: Vakuumkopf



Abb. 7: Basisstation

CelluTome Monograph, Verwendung der Bilder erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Firma KCI, [69].

Sowohl bei der Basisstation als auch bei dem Vakuumkopf handelt es sich um wiederverwendbare Systemkomponenten, welche nach jeder Behandlung mit Isopropanol 70% gereinigt werden (Wischdesinfektion).

Wenn die epidermalen Zellnester ihre optimale Höhe (s. Abb. 8, „Abgeschlossene *Microdome*-Bildung“) erreicht haben und mit klarer Flüssigkeit gefüllt sind, kann nun die Basisstation ausgeschaltet und der Vakuumkopf entfernt werden. Als visueller Anhaltspunkt soll die in Abbildung 8 dargestellte *Microdome*-Bildung dienen.



Beginn der *Microdome*-Bildung Unvollständige *Microdome*-Bildung Abgeschlossene *Microdome*-Bildung

Abb. 8: *Microdome*-Bildung. CelluTome Monograph, Verwendung der Bilder erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Firma KCI, [69].

Durch einmaliges Rotieren der Ratsche, welche am Harvester angebracht ist, können die *Microdome*s sehr schmerzarm von der Entnahmestelle gelöst werden. Zuvor muss jedoch eine sterile Trägerfolie, zum Beispiel ein *3M™ Tegaderm™ Film-Verband* (3M Company, St. Paul, Minnesota, USA) aufgelegt werden. Diese Trägerfolie ermöglicht zum einen den sicheren und vereinfachten Transport des Transplantates in Form eines *Micrografts* (kleines Transplantat) an die Empfängerregion und erleichtert zudem dessen korrekte Ausrichtung und das Aufkleben (s. Abb. 9).



Abb. 9: *Microdome*s nach Entnahme auf steriler Trägerfolie. Abbildung entnommen aus „A Case Series of Complex Recalcitrant Wounds Treated with Epidermal Grafts Harvested from an Automated Device“, Cai et al., Genehmigung erteilt [83].

Falls die Entnahme vorzeitig, das heißt vor vollständigem Abschluss der Microdomebildung und bei noch trüber Färbung erfolgen sollte, kann dies zu Schmerzen, Blutungen aber auch zu nicht adäquaten Ergebnissen führen. Nach Transplantatentnahme sollten kleine Löcher mittels 18 G- Nadeln in die Trägerfolie, zwischen die entnommenen Hautinseln gestochen werden, so dass Wundsekret austreten kann, um ein trockenes Areal zu gewährleisten. An der Entnahmestelle verblieb nun ein schürfwundenähnliches Areal, dessen Abdeckung mit einem 3M Tegaderm™-Film-Verband (s. oben) ausreichend war.

Während der *Microdome*-Bildung wurde die Zeit genutzt, um die Empfängerstelle mittels eines Skalpells anzufrischen, um sowohl eine ausreichende Durchblutung der Hauttransplantate zu gewährleisten, aber auch um überschüssiges Granulationsgewebe zu entfernen, wobei ein schmaler Granulationssaum belassen wurde. Das zu transplantierende *Micrograft* wurde dann behutsam auf die Empfängerstelle aufgeklebt und mit einem Kompressionsverband unter leichtem Andruck versehen. Dieser Verband wurde mindestens 5 Tage nicht gewechselt, um keinen Verlust des Transplantates zu riskieren. Um ein möglichst sekretarmes, trockenes und sauberes Wundgebiet sicherzustellen erfolgten anschließend wöchentliche Verbandswechsel. Im Rahmen dessen wurde immer wieder eine vorsichtige Reinigung des Wundrandes mittels NaCl (physiologische Kochsalzlösung) bis zur vollständigen Epithelialisierung durchgeführt.

Als Wundaufgabe wurde das *ADAPTIC TOUCH™* (Firma Systagenix, Gargrave, North Yorkshire) (s. Abb. 10), also eine nichthaftende Silikon-Wundaufgabe genutzt, um ein Verkleben zu verhindern und um somit einen schmerzfreien und komplikationsarmen Verbandswechsel ohne Verrutschen des Transplantates zu sichern.



Abb. 10: Adaptic Touch als Wundaufgabe am ventralen Unterarm.

Verwendung der Bilder erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Firma Systagenix.

Wahlweise kann auch das *Cuticell®* (BSN medical, Hamburg, Deutschland) (s. Abb. 11) genutzt werden. Hierbei handelt es sich um eine latexfreie und mit einer wirkstofffreien Salbe beschickten Wundaufgabe, welche somit ebenfalls das Verkleben auf der Wunde vermeidet.



Abb. 11: Cuticell als Wundaufgabe am ventralen Unterarm.

Verwendung der Bilder erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Firma BSN medical.

Durch ihre netzartige Struktur und der damit einhergehenden Luft- und Sekretdurchlässigkeit helfen beide Systeme dem Erhalt eines sauberen und den Umständen entsprechenden trockenen Milieus. In beiden Fällen wird die primär abgedeckte Wunde mit einem Kompressionsverband verbunden.

Die nachfolgende Abbildung fasst in Kürze den beschriebenen Ablauf des Eingriffs zusammen.



Abb. 12: Ablauf des epidermalen Transplantationsverfahrens mittels Cellutome-System.

CelluTome Monograph, Verwendung der Bilder erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Firma KCI, [69].

2.1.4 Dokumentation

Für jeden Patienten wurde jeweils ein erster Fragebogen (s. Abb. 13) angelegt, welcher Auskunft über Alter, Geschlecht, Körpergröße, Körpergewicht, Tabak- und Alkoholkonsum, Allgemeinerkrankungen, Spezifische Erkrankungen, Medikamente und Vorbehandlungen (zum Beispiel Radiatio, Chemotherapie) gab.

Für eine möglichst detaillierte Dokumentation der Ausgangssituation an der Akzeptorstelle, aber auch für die abschließende Beurteilung der Wundheilung galt es bereits vor dem Eingriff folgende Aspekte zu beschreiben: Lokalisation und Wundfläche / Größe der Empfängerregion, Status, Granulation, Wundtyp, mögliche Wundbettvorbehandlungen (s. Abb. 13).

Describe the anatomic/clinical judgement of collected data and accepted photo documentation. Date: _____

**CelluTome™
Data Collection Module**

Client's name: _____
 Department: _____
 Name of clinician: _____

Patient Information

Personal data: Age: _____ Years Weight: _____ kg Height: _____ cm Gender: _____ Female _____ Male _____
 Comorbidity diseases: Diabetes Smoking (addictive) Others, name(s): _____
 Concomitant medication: _____
 Anticoagulant therapy: Yes No
 Steroid: Yes No
 Blood pressure: _____ mmHg
 Heart rate: _____
 Inpatient Outpatient

Wound Information

Wound location: _____ (Please see scales on the right)

Please take pictures of the wound before initiation of CelluTome™ treatment. After photographs should not cover identifying characteristics and/or patient information on the face of the patient.

Origin wound type: Trauma Skin Tumor (Skin Fluke) Infected wound Surgical wound Dehiscence Other _____
 Ulcer Pressure, Stage I Pressure, Stage II Pressure, Stage III Pressure, Stage IV _____
 Chronic Ulcer Diabetic ulcer Neurogenic ulcer Venous Stasis Ulcer _____
 MRSA Ulcer _____
 Other, name(s): _____

Wound preparation before CelluTome™: V.A.C. Therapy Dressings applied _____
 Vapour Therapy Dressings applied _____
 Dressing applied _____
 Dressing applied _____

Abb. 13: Fragebogen Nr. 1 vor der Cellutome-Anwendung – gestellt von der Firma KCI.

Zudem wurden neben den Einstellungsparametern des Gerätes ebenfalls die benötigte Zeit für den Eingriff und die verwendeten Materialien beziehungsweise Methoden zur Wunddeckung schriftlich festgehalten. Während des Eingriffs wurden die Patienten anhand einer VAS über deren subjektives Empfinden im Rahmen der Cellutome –Anwendung befragt (s. Abb. 14).

The form is titled "CelluTome™ settings, Pain and Wound Assessment". It contains several sections:

- Wound status before use of CelluTome™:** Radio buttons for Open, Pain, Hair, Retries, Sealing, Pus, and Others, namely.
- Wound dimensions before use of CelluTome™:** Input fields for length, width, and depth in cm.
- Local anesthetics used at donor site?:** Radio buttons for Yes and No, with a field for "If 'Yes', specify".
- Pain assessment at donor site:** A horizontal line with a scale from 1 (smiley face) to 10 (frowny face).
- Pain assessment at recipient site:** A horizontal line with a scale from 1 (smiley face) to 10 (frowny face).
- Where were the epidermal grafts harvested from?:** Input field.
- CelluTome™ settings:** Input field for "minutes".
- Tegaderm™ size used:** Radio buttons for 2.5x2.5 cm and 5.0x5.0 cm.
- Is graft-carrying Tegaderm™ foam used prior to application?:** Radio buttons for Yes and No.
- Any bonding applied at the graft Tegaderm™:** Radio buttons for Yes and No, with a field for "If 'Yes', specify".

Abb. 14: Fragebogen Nr. 2 bei der ersten Cellutome-Anwendung mit VAS (1 = keine Schmerzen bis 10 = starke, nicht ertragbare Schmerzen) – gestellt von der Firma KCI.

Um nach Abschluss der Wundheilung dessen Verlauf besser auswerten zu können und eine möglichst hohe Reproduzierbarkeit zu erlangen, wurden einheitliche Dokumentationsmodalitäten festgelegt. Diese wurden im Rahmen der wöchentlichen Kontrollen durchgeführt.

Zum einen sollte ein Verlaufsbogen (s. Abb. 15) bei jeder Kontrolle der Erfassung der Wundheilung beziehungsweise der Wundcharakteristika (Wundgröße, Wundstatus, Exsudation) dienen. Zusätzlich wurden hierbei die bei den Verbandswechseln verwendeten Materialien, mögliche Komplikationen und Auffälligkeiten ebenfalls festgehalten.

The form is titled "Dressing Change No. 1 (removal and substitution of Tegaderm™)". It contains several sections:

- Date of dressing change:** Input field.
- Days since graft applied:** Input field.
- Picture taken from both donor and recipient site?:** Radio buttons for Yes and No.
- Pooling of fluid under Tegaderm™?:** Radio buttons for Yes and No.
- Are the grafts attached to the wound?:** Radio buttons for Yes and No, with a field for "If 'No', please describe".
- Were there common problems with Tegaderm™?:** Radio buttons for Yes and No, with a field for "If 'Yes', describe".
- Wound stoned?:** Radio buttons for Yes and No.
- If 'No', what is the next step in treatment? (specify dressing):** Input field.
- Are epidermal grafts easily visible?:** Radio buttons for Yes and No, with a field for "If 'Yes', appear epidermal grafts" and radio buttons for translucent and opaque.
- Exudate volume:** Radio buttons for No exudate, Minimal amount, Light or small amount, Moderate amount, and Heavy/large amount.
- Type of wound exudates:** Radio buttons for No exudates present, Clear or light yellow watery plasma, Pink or light-red watery plasma, Red with fresh bleeding, and Green or tan.

Donor site healed?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	Treatment of donor site? (if so, specify)	<input type="text"/>	
Dressing Change No. 2					
Date of dressing change	<input type="text"/>	Days since graft applied	<input type="text"/>	days	
Picture taken from both donor and recipient sites?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No			
Wound closed?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No			
If "No", what is the next step in treatment? (also specify dressing)					
<input type="text"/>					
Are epidermal grafts clearly visible?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	If "Yes", appear epidermal grafts:	<input type="checkbox"/> translucent	<input type="checkbox"/> opaque
Exudate volume:	<input type="checkbox"/> No exudate	<input type="checkbox"/> Minimal amount	<input type="checkbox"/> Light or small amount	<input type="checkbox"/> Moderate amount	<input type="checkbox"/> Heavy/large amount
Type of wound exudate:	<input type="checkbox"/> No exudates present	<input type="checkbox"/> Clear or light yellow watery plasma	<input type="checkbox"/> Pink or light-red watery plasma	<input type="checkbox"/> Red with most bleeding	<input type="checkbox"/> Green or tan
Donor site healed?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	Treatment of donor site? (if so, specify)	<input type="text"/>	
Dressing Change No. 3					
Date of dressing change	<input type="text"/>	Days since graft applied	<input type="text"/>	days	
Picture taken from both donor and recipient sites?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No			
Wound closed?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No			
If "No", what is the next step in treatment? (also specify dressing)					
<input type="text"/>					
Are epidermal grafts clearly visible?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	If "Yes", appear epidermal grafts:	<input type="checkbox"/> translucent	<input type="checkbox"/> opaque
Exudate volume (recipient site)	<input type="checkbox"/> No exudate	<input type="checkbox"/> Minimal amount	<input type="checkbox"/> Light or small amount	<input type="checkbox"/> Moderate amount	<input type="checkbox"/> Heavy/large amount
Type of wound exudate (recipient site)	<input type="checkbox"/> No exudates present	<input type="checkbox"/> Clear or light yellow watery plasma	<input type="checkbox"/> Pink or light-red watery plasma	<input type="checkbox"/> Red with most bleeding	<input type="checkbox"/> Green or tan
Donor site healed?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	Treatment of donor site? (if so, specify)	<input type="text"/>	
Dressing Change No. 4					
Date of dressing change	<input type="text"/>	Days since graft applied	<input type="text"/>	days	
Picture taken from both donor and recipient sites?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No			
Wound closed?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No			
If "No", what is the next step in treatment? (also specify dressing)					
<input type="text"/>					
Are epidermal grafts clearly visible?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	If "Yes", appear epidermal grafts:	<input type="checkbox"/> translucent	<input type="checkbox"/> opaque
Exudate volume:	<input type="checkbox"/> No exudate	<input type="checkbox"/> Minimal amount	<input type="checkbox"/> Light or small amount	<input type="checkbox"/> Moderate amount	<input type="checkbox"/> Heavy/large amount
Type of wound exudate:	<input type="checkbox"/> No exudates present	<input type="checkbox"/> Clear or light yellow watery plasma	<input type="checkbox"/> Pink or light-red watery plasma	<input type="checkbox"/> Red with most bleeding	<input type="checkbox"/> Green or tan
Donor site healed?	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	Treatment of donor site? (if so, specify)	<input type="text"/>	

Abb. 15: Verlaufsbogen bei wöchentlichem Verbandswechsel zur Wunddokumentation-gestellt von der Firma KCI.

Zum anderen wurde mittels einheitlicher Fotodokumentation der Spender- und Empfängerregion, gemäß eines zuvor von der Firma KCI erstellten Leitfadens (s. Abb. 16) der Wundheilungsverlauf festgehalten. Kriterien hierbei: digitale Fotografie bei Tageslicht, ohne Blitz und ohne jegliche Vergrößerung, senkrechte Ausrichtung der Kamera ohne Schattenwurf und Erfassung gesamter Wundfläche.

Um eine Pseudonymisierung zu erzielen, wurden den Patienten Buchstaben von A-J zugeordnet. Das Wundlineal war mit Datum, Name des Behandlers, Patient A-J und fotografiertes Region zu beschriften. Vor dem Eingriff wurde wie oben bereits beschrieben die Entnahmestelle und die Empfängerstelle, diese jedoch jeweils einmal mit und einmal ohne Wundlineal fotodokumentarisch erfasst. Nach der *Micrograft*-Applikation wurde zusätzlich noch die Empfängerstelle mit aufliegendem Transplantat und die Donorstelle nach Entnahme der *Microdome*s fotografiert. Bei den nachfolgenden Kontrolluntersuchungen wurden dann jeweils Entnahme- und Empfängerstelle mit und ohne Wundlineal fotografisch dokumentiert.

Grundlegende Voraussetzung:

- Minimale Auflösung: 1 MB; 1600x768 Pixel
- Format: .jpg
Keine Bilder, die bereits in Power Point gespeichert sind.
- Aufnahme unter gleichen Lichtverhältnissen: Tageslicht, ohne Blitz
- Fotos ohne Blitzreflexion
- Keine Schatten durch Fotografen oder Kamera auf der Wunde
- Keine Verwendung von Zoom
- Ganze Wunde
- Gleiche Perspektive bei jedem Verbandswechsel

Empfohlen: senkrecht und nicht in schrägem Winkel

Dateiname:

CenterName_NameDesBehandelndenArzt_PatientA_Datum_Wundtyp.jpg

Patienten 1-10 mit den Buchstaben von A-J benennen

Bildserie:

1. Termin-CelluTome Anwendung

Vor CelluTome Anwendung

- Entnahmestelle (2x)
- Empfängerstelle mit Wundlineal (2x)
- Empfängerstelle ohne Wundlineal (2 x)

Nach Micrograft Applikation

- Empfängerstelle mit aufliegendem Micrograft (2x)

2. Termin – Verbandswechsel-Entfernung des 3M Tegaderm Film Verbandes (nach 5-7 Tagen)

- Entnahmestelle (2x)
- Empfängerstelle mit 3M Tegaderm Film Verband – mit Wundlineal (2x)
- Empfängerstelle mit 3M Tegaderm Film Verband – ohne Wundlineal(2x)

3. Termin – Verbandswechsel

- Entnahmestelle (2x)
- Empfängerstelle mit Wundlineal (2x)
- Empfängerstelle ohne Wundlineal (2 x)

4. Termin – Verbandswechsel

- Entnahmestelle (2x)
- Empfängerstelle mit Wundlineal (2x)
- Empfängerstelle ohne Wundlineal (2 x)

5. Termin – Verbandswechsel

- Entnahmestelle (2x)
- Empfängerstelle mit Wundlineal (2x)
- Empfängerstelle ohne Wundlineal (2 x)

6. Abschließendes Foto – bei vollständigem Wundverschluss

Auch wenn dieser später als nach dem 4. Verbandswechsel erreicht werden sollte. Bitte alle Verbandswechsel in die Bilddokumentation aufnehmen.

Abb. 16: Leitfaden zur Bilddokumentation – gestellt von der Firma KCI.

Abschließend wurde für jeden Patienten ein Fragebogen ausgefüllt, welcher die Intention hatte eine Kosten- Zeit- und Nutzenrelation festzuhalten. Ziel war es somit die Wundheilungsdauer, die Dauer des Eingriffs sowohl bei der Transplantation als auch im Rahmen der wöchentlich erfolgten Verbandswechsel und den damit anfallenden Kosten für das hierfür benötigte Personal, beurteilen zu können. Anschließend sollte anhand dieser Informationen die klinische Relevanz der neuen Methode der epidermalen Hauttransplantation herauszustellen sein (s. Abb. 17).

Final Evaluation (please take pictures of donor and acceptor site to document the final outcome. Note: photographs should not contain identifying characteristics such as patient information or the face of the patient.)

Date of final wound closure:

Total time from CelluTome™ application initiation to wound closure: days

Health Economic Data

Length of stay at normal room during CelluTome™ application: Days
(if inpatient)

Average nurse time per dressing change: Minutes

Average physician time per dressing change: Minutes

Costs of normal hospital bed per day: €

Average time per dressing change: Minutes

Average costs of nurse time per dressing change: €

Average costs of physician time per dressing change: €

Overall Comments

Assessment of CelluTome™ ease of use: Excellent Good Average Fair Poor

Assessment of CelluTome™ performance: Excellent Good Average Fair Poor

Willingness-to-recommend CelluTome™ high medium low

Rationale of the rating:

Should anything be described to complete the overview on the device performance?

Completed by (name in caps)

Signature

Abb. 17: Abschlussbrief für finale klinische Evaluation – gestellt von der Firma KCI.

2.1.5 Statistische Methoden

Die Patientendaten wurden in einer Exceltabelle (Microsoft Office, 2016, Microsoft Corporation, Redmond, USA) aufgeführt, um so eventuell durch Gemeinsamkeiten in der Patientenanamnese Unterschiede in der Heilungstendenz besser aufführen zu können. Zudem sollte die Berechnung der durchschnittlichen Heilungsdauer erleichtert und veranschaulicht werden. Aufgeführte Daten waren hierbei Alter, Geschlecht, Anamnese (Allgemeine und Spezielle), Medikamente, Vorbehandlungen, Wundgröße, Wundheilungsdokumentation bei wöchentlichen Verbandswechseln; Wundheilungsdauer am ventralen Unterarm und an der Oberschenkelinnenseite.

Der T-Test für unverbundene Stichproben wurde im Speziellen genutzt, um die Heilungsdauer mit vorangegangener V.A.C.-Therapie beziehungsweise ohne V.A.C.-Therapie gegeneinander auf signifikante Unterschiede zu prüfen. Aufgrund der Fallzahl im Rahmen dieser Studie, waren weitere spezielle statistische Testverfahren für eine Analyse der Ergebnisse und patientbezogenen Daten nicht notwendig.

2.2 Systematisches Review

2.2.1 Hintergrund

Maßgeblich für diese Studie, war die klinische Anwendung der automatisierten epidermalen Hauttransplantation mit Hilfe des CelluTome-Systems (Firma KCI, Acelity, San Antonio, Texas, USA) auf dem, nach unserem Kenntnisstand, zuvor noch nicht genutzten Einsatzfeld am ventralen Unterarm nach Radialislappentransplantation. Ziel war es eine Einordnung der Ergebnisse in die derzeit vorliegende Literatur zu ermöglichen. Da die Standardverfahren (Spalt- und Vollhauttransplantation) mit diversen Nachteilen wie Sehnenfreilegungen bis hin zu Transplantatabstoßungen, iatrogen erzeugten Donorstellen, welche mit weiteren Schmerzen, weiterer Belastung des Patienten und erhöhtem Versorgungsbedarf einhergehen, wurde ein Vergleich der bereits beschriebenen Alternativmethoden untereinander, mit dem epidermalen Transplantationsverfahren aus dieser klinischen Studie, aber auch mit den Standardverfahren angestrebt.

Inkludierte Studien wurden mittels Subgruppenanalyse evaluiert. Es soll hierdurch eine wissenschaftlich relevante Aufführung der Studien ermöglicht werden, um so valide Vor- und Nachteile der Resultate der Studien verdeutlichen zu können. Bestenfalls soll eine Perspektive bezogen auf die klinische Relevanz aber auch auf weiterführende klinische Studien gegeben werden.

2.2.2 Erörterung der Fragestellung

Kern dieser Arbeit ist die Ermittlung, ob hinsichtlich Funktion, Ästhetik, Dauer der Wundheilung beziehungsweise Aufwand des Eingriffs, Entlastung des Patienten beziehungsweise des Behandlerteams und Kosten die gängigen Goldstandardverfahren wie Voll- und Spalthauttransplantate zur Deckung nach Radialislappentnahme, durch modifizierte und alternative Verfahren oder gar durch die automatisierte Epidermistransplantation ersetzt werden können. Die Fragestellung wurde dann basierend auf dem von *Richardson et al.* beschriebenen PICO-Schema und einer primären Literaturdurchsicht formuliert [116]. Das PICO-Schema stellt eine Leitstruktur dar, welche Reviewern dabei helfen soll eine präzise und die wichtigsten Informationen umfassende Fragestellung zu definieren. Hierbei stehen das „P“ für Patienten/*Population*, „I“ für *Intervention* (Verfahren/Therapie), „C“ für *Comparison* (Kontrollgruppe), „O“ für *Outcome* (welche Parameter sollen untersucht werden?). Hierbei galt es bei der Erarbeitung der Fragestellung in einem ersten Schritt ebenfalls die bereits bestehende Datenlage beziehungsweise Datum und Qualität weiterer systematischer Reviews zu gegebener Thematik wie von *Pabst et al.* oder auch *Loeffelbein et al.* zu berücksichtigen [64, 117].

Dies führte uns final zu der Fragestellung:

Kann die ambulante und automatisierte epidermale Hauttransplantation die Wundversorgung von Patienten nach Radialislappentransplantation hinsichtlich Effizienz (funktionell und ästhetisch) an Donor- und Akzeptorstelle, Patientenbelastung, Kosten-Nutzen-Relation mit anderen beschriebenen Alternativ- oder auch Standardverfahren konkurrieren und Einlass in den klinischen Alltag finden?

2.2.3 Literaturrecherche

Anhand der formulierten Fragestellung wurden sowohl Themengebiete als auch Ein- beziehungsweise Ausschlusskriterien definiert. Durch eine thematische Orientierung und Recherche in den Literaturdatenbanken von PubMed (www.pubmed.gov) und Cochrane Library

(www.cochranelibrary.com) wurden zudem genauere Suchparameter und Suchbegriffe zu diesen Themengebieten eruiert und vervollständigt. Anschließend konnte die Datenbankrecherche begonnen werden. Ein Leitfaden, welcher im Verlauf der Orientierungsphase vielmehr einem Kreislauf ähnelt und einer ständigen Reevaluation bedarf, wird in Abbildung 18 dargestellt und soll einen Überblick über den Ablauf des systematischen Reviews geben.

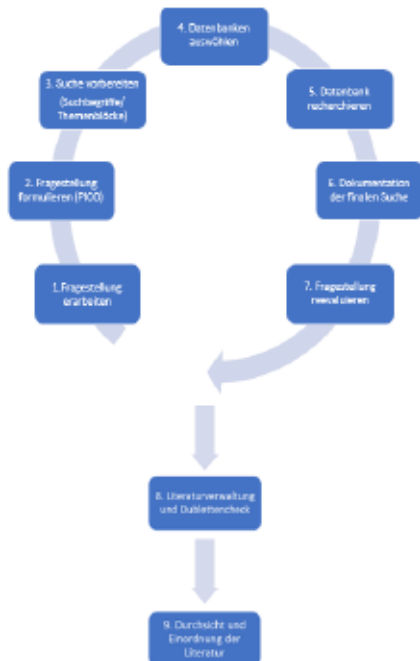


Abb. 18: Ablauf einer systematischen Literaturrecherche – selbst erstellt in Anlehnung an „Praxisleitfaden-Systematische-Literaturrecherche-Version-2-0-beta.pdf der Universitätsmedizin Mainz, Ablauf einer systematischen Literaturrecherche, Abb. 1“, [118].

Bei einem systematischen Review gilt es die Suchbegriffe so festzulegen, dass eine möglichst spezifische Literaturergebnisliste erscheint. Dennoch sollte sichergestellt werden, dass möglichst keine relevanten Studien ausgeschlossen werden. Diese sogenannte Spezifität und Sensitivität wird in Abbildung 19 dargestellt. Hierbei gilt es möglichst unter Ausschluss systematischer Fehler („Bias“) zu recherchieren.

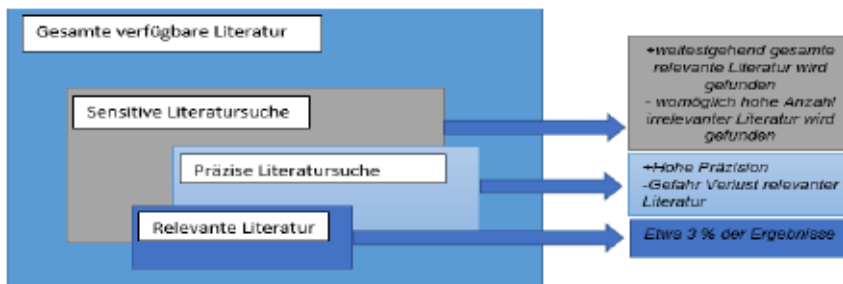


Abb. 19: Veranschaulichung der Spezifität und der Sensitivität bei einem systematischen Review – selbst erstellt in Anlehnung an „Praxisleitfaden-Systematische-Literaturrecherche-Version-2-0-beta.pdf der Universitätsmedizin Mainz, Seite 9“ und gemäß *Sampson et al.* [118, 119].

Im Weiteren wurden für eine einheitliche Suche Ein- und Ausschlusskriterien definiert.

Die Ausschlusskriterien waren wie folgt definiert:

Studiendesign	Meta-Analysen, Systematische Reviews, Kommentare
Textform	Lediglich Abstract verfügbar
Wundcharakteristika	-Ossäre/osteokutane RFFF Donorstellen -Zweite Versorgung nach Transplantatabstoßung -unsaubere und nicht granulierte Wunden

Die Einschlusskriterien waren wie folgt definiert:

Datum der Veröffentlichung	Keine Eingrenzung
Sprache	Artikel in Englisch, Deutsch, Französisch, Spanisch
Studiendesign	-Alle klinischen Studien (retrospektiv und prospektiv) -Case reports ab einem Patientenkollektiv von größer/gleich 10 Patienten
Studienart	Humane und tierische Studien
Textform	Volltext
Alter	Patienten ab dem 18. Lebensjahr
Geschlecht	Männlich, weiblich, divers
Allgemeinerkrankungen/Komorbiditäten	Mit und Ohne (gesondert aufgeführt)
Vorbehandlungen (Radiatio, Chemo)	Mit und Ohne (gesondert aufgeführt)
Wundflächenlokalisierung	Ventraler Unterarm nach Radialislappentnahme (primäre Versorgung, unabhängig von Entnahmegrund)
Wundcharakteristika	-Saubere und granulierte Wunden -sub- oder suprafasziale Lappenhebung (gesondert aufgeführt) - Mit und Ohne Wundbettvorbehandlung (gesondert aufgeführt)
Wundgröße	Ab 1cm ²

2.2.4 Suchstrategie und Literatursauswahl

Nach einer ersten Orientierung in diversen Datenbanken, wurden für eine systematische Literaturrecherche die Literaturdatenbanken PubMed (www.pubmed.gov) und Cochrane Library (www.cochranelibrary.com) gewählt. Die Suchzeit betrug 6 Monate, wobei die letzte Aktualisierung am 01.06.2021 erfolgte. Im Rahmen der Literatursuche wurden für eine möglichst spezifische und zeitgleich vollständige Ergebnisliste die unten aufgeführten Themenblöcke unter Berücksichtigung diverser Suchtechniken definiert. Es wurden nach gründlicher Sichtung vergleichbarer Studien mit ähnlicher Thematik unterschiedliche Suchbegriffe mitsamt möglicher Synonyme, Abkürzungen, abweichender Schreibweisen unter Berücksichtigung von Plural/Singular und „MeSH Terms“ beschrieben. Diese wurden mithilfe von Operatoren wie „OR“ und „AND“ miteinander verknüpft. Anbei wird der genaue Aufbau und Inhalt der Literaturrecherche dargestellt:

- 1) **All Fields:**
wound healing OR wound coverage OR wound closure OR defect coverage OR wound management OR wound closure technique* OR donor site* OR donor site morbidity (*Pubmed*: n = 427.349, *Cochrane Library*: n = 27.174)
- 2) **MeSH Terms:**
[forearm] (*Pubmed*: n = 17.604, *Cochrane Library*: n = 1.450)
- 3) **All Fields:**
RFFF head neck OR RFFF donor site* OR radial forearm OR radial forearm free flap* OR radial forearm flap* OR RFFF reconstruction OR Chinese flap* (*Pubmed*: n = 10.914, *Cochrane Library*: n = 704)

Hierbei wurde grundsätzlich die Option „Advanced Search“ genutzt. Die nach Verknüpfung der einzelnen Themenblöcke (mittels Operator „AND“) erschienenen Artikel bei *PubMed* und *Cochrane Library* wurden als primäre Ergebnisliste aufgeführt. Sowohl im Rahmen eines Dublettenchecks, als auch anhand der Titel und Abstracts wurde diese gesichtet und gemäß der zuvor genannten Ein- und Ausschlusskriterien gefiltert. Anschließend wurde zu jedem gefilterten Artikel die Option „All similar articles“ gewählt und diese Literaturliste ebenfalls nach thematischer Relevanz und Korrespondenz mit den oben genannten Ein- / und Ausschlusskriterien gesichtet. Nach Sichten der Volltexte wurden die Artikel erneut auf ihre Relevanz hin geprüft. Die verbliebenen Artikel konnten dann final als passend für den Einschluss in die geplante Evaluation erachtet werden. Dieser Suchverlauf wurde in einem *Flow Chart* (s. Tabelle 7) erfasst.

Die Ergebnisliste wurde anschließend thematisch in Subgruppen gegliedert: primärer Wundverschluss, Gewebeexpansion, vorherige Wundflächenreduktion mittels Nahttechniken, V.A.C.-Therapie, allogene/xenogene/alloplastische Transplantate, lokale Lappenplastiken/Nahlappenplastiken, FTSG und STSG. Da im Rahmen der systematischen Literaturrecherche ein besonderes Augenmerk auf die alternativen Methoden zur Deckung der Entnahmestelle nach Radialislappentransplantation gelegt wurde, erfolgte an dieser Stelle der Einschluss der Standardverfahren (Vollhaut- und Spalthauttransplantation) als valide Kontrollgruppe. Die beschriebenen Modalitäten und Ergebnisse der jeweils beschriebenen Verfahren wurden abschließend in einer Tabelle erfasst.

Zudem sollte bei der Durchführung eines systematischen Reviews die Qualitätsbewertung beziehungsweise der Evidenzgrad der jeweiligen Studie gemäß der Einteilung in Abbildung 20 betrachtet werden.

Level	Studies of therapy, prevention, etiology, or harm
Ia	Systematic review (with homogeneity) of randomized controlled trial
Ib	Individual, randomized, controlled experimental or clinical trial
IIa	Systematic review of cohort studies
IIb	Individual cohort study (including low-quality randomized controlled trials; eg, <80% follow-up) and controlled experimental and clinical studies with no randomization
Ic	"Outcomes" research, eg, quality-of-life research, retrospective follow-up
IIIa	Systematic review (with homogeneity) of case-control studies
IIIb	Individual case-control studies
IV	Nonexperimental studies, such as cross-sectional trials, case series (and poor-quality cohort, follow-up, and case-control studies), case reports
V	Expert opinion without explicit critical appraisal or based on physiology, bench research, or "first principles"
(VI)	Not classified, because main focus on a topic other than donor site morbidity of the radial forearm flap

Abb. 20: Aufführung der Reihenfolge von Studien gemessen am Evidenzgrad – modifiziert gemäß Antes et al. [120] aus „Reduction of Donor Site Morbidity of Free Radial Forearm Flaps: What Level of Evidence Is available?“, Loeffelbein et al., Genehmigung erteilt [117].

2.2.5 Dokumentation

Neben dem oben bereits erwähnten *Flow Chart*, um den Suchverlauf zu veranschaulichen, wurden die relevanten und inkludierten Artikel tabellarisch und in Subgruppen aufgeführt. Hierbei wurden für jeden Artikel die wichtigsten Informationen und Ergebnisse in zwei Tabellen zusammengefasst. Die erste Tabelle beinhaltete Angaben hinsichtlich Titel, Autoren, Publikationsjahr, Sprache, Studiendesign, Studienart und Ort der Veröffentlichung. In einer zweiten Tabelle wurden zu den jeweiligen Artikeln, das angewandte Verfahren, das Patientenkollektiv und die Ergebnisse beschrieben.

Die Ergebnisse bezogen sich, sofern bekannt, auf die zu Beginn definierte Fragestellung und die vordefinierten Parameter (Wundfläche, Wundheilungsdauer, Ästhetik, Funktion, Belastung und stationärer Aufenthalt, Schmerzen, benötigte Anästhesie / 2. Eingriff, Kosten, Anforderung an Behandlerteam). Weitere nicht zu vergleichende Besonderheiten und Eingriffsmodalitäten der jeweiligen Studien wurden ebenfalls integriert. Im Rahmen der Diskussion konnte dann basierend auf diesen aufgeführten Ergebnissen (s. auch zusammenfassende Tabelle 10) eine kritische Bewertung und ein Vergleich unterschiedlicher Verfahren innerhalb der Subgruppen oder auch unterhalb der Subgruppen durchgeführt werden. Die Literaturquellenangabe erfolgte mit dem Literaturverwaltungsprogramm *EndNote*.

3 Ergebnisse

3.1 Deskriptive statistische Ergebnisse aus klinischer Studie

Im Rahmen dieser Studie wurden 10 Patienten mit Defekten am ventralen Unterarm nach Radialislappentransplantation eingeschlossen, wobei eine Patientin sowohl eine Transplantatentnahme am rechten als auch am linken Unterarm nach Transplantatabstoßung erfuhr. Da folglich 10 Wunden zu versorgen waren, wird die besagte Patientin als zwei Patienten aufgeführt und bei Besonderheiten der Vollständigkeit halber gesondert erwähnt. Daraus resultieren 6 männliche Probanden (60 %), Median 69 Jahre, Mittelwert 66,8 Jahre (51 - 80 Jahre) und 4 weibliche Probanden (40 %), Median 50 Jahre, Mittelwert 51 Jahre (35 - 69 Jahre).

Wie oben bereits beschrieben, wurden alle Daten bezogen auf den Wundheilungsverlauf und die Patientencharakteristika mithilfe von Verlaufsbögen festgehalten, welche anschließend ausgewertet wurden. Die wichtigsten Rahmeninformationen zu den untersuchten Patienten hier in Form einer Tabelle in Kürze zusammengefasst:

Pat.	Alter (J)	Geschlecht	Tumor-lokalisierung	Morbidität	Komorbidität	Vorbehandlungen	Radialis-lappen
A	51	m	PEC Mundboden	-	* Nikotin	-	Rechts, Ventraler UA
B	65	w	PEC Mundboden und Zunge (Rezidiv- behandlung nach insuff. Rekonstruktion mit Zungelappen <i>alio loco</i>)	*MRSA	* Nikotin (bis vor kurzem)	* Z.n. Chemo- therapie	Links, Ventraler UA
C	56	m	PEC (Innenseite der Unterlippe, Mundboden)	* Z.n. Synkope * V.a. Leber- zirrhose * chron. Pankreatitis * Pneumonia	* Nikotin * Alkohol (übermäßig)	* Z.n. Radiatio * V.A.C. (3 Wochen)	Links, Ventraler UA
D*	35	w	PEC (Planum buccal rechts)	*Hypothyreose	* Nikotin	-	Links, Ventraler UA
E*	35	w	PEC (Planum buccale rechts)	*Hypothyreose	* Nikotin	-	Rechts, Ventraler UA
F	71	m	PEC (Mundboden)	* Arterielle Hypertonie	* Nikotin	* Z.n. Radiatio (Kopf-Hals) * V.A.C. (3 Wochen)	Rechts, Ventraler UA
G	69	w	PEC (Mundboden)	* Arterielle Hypertonie	* Nikotin * Alkohol	* V.A.C (1 Woche)	Links, Ventraler UA
H	76	m	PEC (Mundboden)	*Herzschrittmacher *Arterielle Hypertonie	* Nikotin	-	Links, Ventraler UA
I	67	m	PEC (Mundboden)	-	* Nikotin	-	Links, Ventraler UA
J	80	m	PEC (Mundboden)	* Arterielle Hypertonie	* Nikotin	-	Links, Ventraler UA

Tabelle 2: Patientencharakteristika und allgemeinanamnestische Daten/Historie.

Auflistung der Patienten erfolgt in der Abfolge der Operationsdaten.

Abkürzungsverzeichnis: J=Jahr; PEC= Plattenepithelkarzinom; UA= Unterarm; Z.n.= Zustand nach; MRSA= Methicillin-resistenter *Staphylococcus aureus*; V.a. = Verdacht auf; D*/E*= 2 unterschiedliche Entnahmestellen bei einem Patienten

Bei allen untersuchten Patienten lag eine tumoröse Vorerkrankung im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich vor, wobei es sich hier in allen Fällen um Plattenepithelkarzinome der Mundhöhle (meist Mundboden/Zunge, aber auch Planum buccale) handelte. Nach erfolgreicher Resektion wurden diese Defekte mit Hilfe eines freien mikrovaskulär gestielten Radialislappens verschlossen. Daraus resultierte folglich eine sekundäre zu deckende Wunde, welche sich bei den Probanden am nicht dominanten Arm (70 % der Fälle am linken und in 30 % der Fälle am rechten ventralen Unterarm) befand. In einem Fall ergab sich jedoch die Wunde am rechten, dominanten Unterarm, wie zu Beginn bereits erläutert wurde, aufgrund einer bereits erfolgten, aber gescheiterten Radialislappen- transplantation vom linken nicht dominanten Unterarm.

Die Wundflächen vor der CelluTome-Anwendung betrugen im Durchschnitt 5,76 cm (Länge) und 3,17 cm (Breite), wobei die kleinste gemessene Wunde 4,0 x 2,5 cm² und die größte Wunde 9,5 x 2,4 cm² waren. Bei allen Probanden waren im Durchschnitt nach 11 Tagen bereits die ersten Anzeichen einer Wundheilung zu erkennen in Form von epidermalen Zellnestern, welche klar sichtbar waren und der Akzeptorstelle auflagen.

Die vollständige Epithelialisierung der Empfängerstelle erfolgte nach durchschnittlich 72,4 Tagen. Dabei ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass die schnellste Heilung nach bereits 21 Tagen zu verzeichnen war bei einem Patienten (männlich, 71 J., Raucher, V.A.C.-Therapie an Unterarm zuvor, Wundfläche: 4,0 x 3,0 cm²), der zuvor eine Radiatio im Kopf-/Halsbereich erfahren hatte. Die am längsten andauernde, jedoch erfolgreiche Wundheilung erfolgte nach 101 Tagen (weiblich, 65 Jahre, ehemalige Raucherin, keine V.A.C.-Therapie an Unterarm zuvor, Wundfläche 9,5 x 2,4 cm²).

In dem Fall der jüngsten Probandin (weiblich, 35 Jahre, Hypothyreose, Raucherin, keine V.A.C.-Therapie an Unterarm zuvor), mit einer Wunde sowohl am rechten (7,0 x 3,4 cm²) als auch am linken (5,6 x 1,2 cm²) Unterarm nach nicht erfolgreicher Radialislappentransplantation, wurde nach 119 Tagen ausbleibender Wundheilung ein Abbruch der Behandlung entschlossen. Die medizinische Historie der jeweiligen Patienten beziehungsweise deren Multimorbidität (s. Tabelle 2) hatte somit keine nennenswerte Auswirkung auf die gesamte Wundheilung (Dauer und Qualität), so dass eine weiterführende Berücksichtigung dieses Aspektes nicht notwendig ist.

Im Folgenden sind einige klinische Bilder des Wundheilungsverlaufes der Patienten beigefügt.



Transplantation Behandlungsverlauf über 40 Tage



Transplantation Behandlungsverlauf über 30 Tage

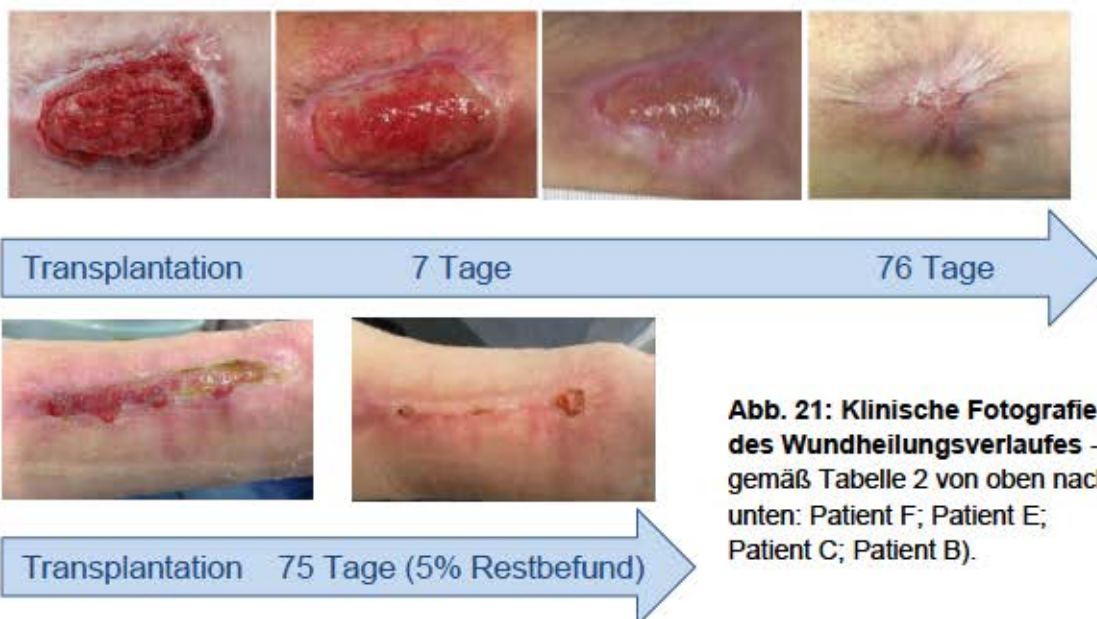


Abb. 21: Klinische Fotografie des Wundheilungsverlaufes - gemäß Tabelle 2 von oben nach unten: Patient F; Patient E; Patient C; Patient B).

Funktionelle Untersuchungen ergaben sehr gute Resultate hinsichtlich der geprüften Parameter wie Sehnengleitbewegung und Sensibilität. Auch aus ästhetischem Blickwinkel können die Endergebnisse eine akzeptable Wundheilung vorweisen mit geringem Grad an Vernarbung und Pigmentierung.

Um bestmögliche Voraussetzungen für die Transplantation zu schaffen, wurde ein möglichst trockenes und gut granuliertes Wundbett angestrebt. Um mögliche Unterschiede oder auch Vorteile im Wundheilungsverlauf sehen zu können, wurde als Vergleichsgruppe bei 3 Patienten zuvor eine V.A.C.[®]-Therapie (Firma KCI, Acelity, San Antonio, Texas, USA) (ein Patient: 1 Woche und zwei Patienten: jeweils 3 Wochen) angeordnet (s. Tabelle 3). Hierbei handelt es sich um ein System, welches mittels Unterdruck die Wundheilung fördern soll, das heißt die Wundränder zusammenziehen, Sekret abführen und die Bildung von Granulationsgewebe stimulieren soll. Die Modalitäten während dieser Anwendung waren wie folgt definiert: ohne Spülung, unterminierend, -125 mmHg, 2 Minuten Saugen – 2 Minuten Ruhe.

Patient mit V.A.C (Dauer der Anwendung)	Wundgröße zu Beginn (in cmxcm)	Wundgröße zu Beginn (in cm ²)	Abgeschlossene Wundheilung (Tage)
Patient C (3 Wochen)	5 x 3	15	76
Patient G (1 Woche)	4 x 2,5	10	36
Patient F (3 Wochen)	4 x 3	12	21

Tabelle 3: Wundheilungsdauer mit V.A.C. – bei Patienten mit vorangegangener Wundbettvorbereitung mittels V.A.C.-Therapie (gemäß absteigender Wundheilungsdauer).

Bei dieser Art der Wundbettvorbereitung ist stets darauf zu achten, dass das entzogene Exsudat tatsächlich abgepumpt wird und nicht zu einer verstärkten Anreicherung von Flüssigkeit auf der Wunde führt, was uns in einem Fall nach einer Woche veranlasste die V.A.C.-Therapie abzubrechen.

Ein protrahierter Wundheilungsverlauf lag im Falle des Patienten C (s. oben klinische Bilder) vor. Bei diesem handelte es sich um einen Patienten, mit Hygienedefiziten und einem hohen Alkohol- und Nikotinkonsum. Die Wundsekretbildung war hier stark erhöht und anfangs mit einer grünlich/gelben Verfärbung vergesellschaftet. Nach mehreren Verbandswechseln konnte die Exsudation jedoch eingeschränkt werden, sodass eine Reepithelialisierung des Wundbettes erzielt werden konnte.

Patient ohne V.A.C.	Wundgröße zu Beginn (in cmxcm)	Wundgröße zu Beginn (in cm ²)	Abgeschlossene Wundheilung (Tage)
Patient D*	5,6 x 1,2	6,72	119 (Restbefund 1,3 x 2,4 cm ²)
Patient E*	7,0 x 3,4	23,8	116
Patient B	9,5 x 2,4	22,8	101
Patient J	8,0 x 4,0	32,0	93
Patient H	4,5 x 2,7	12,2	62
Patient I	5,0 x 4,5	22,5	55
Patient A	5,0 x 4,0	20,0	45

Tabelle 4: Wundheilungsdauer ohne V.A.C. – bei Patienten ohne Wundbettvorbereitung mittels V.A.C. (gemäß absteigender Wundheilungsdauer); *= 2 unterschiedliche Entnahmestellen bei einem Patienten.

Die Vergleichsgruppe mit vorangegangener V.A.C.-Therapie (s. Tabelle 3), ergab einen leichten zeitlichen Vorteil bezüglich der Wundheilung im Gegensatz zu den Patienten ohne eine vorangegangene V.A.C.-Therapie (s. Tabelle 4).

Gemäß einer Gegenüberstellung von Tabelle 3 und 4 (s. Tabelle 5) beziehungsweise weiteren Berechnungen mit Hilfe einer angefertigten Exceltabelle, lassen sich bei der Wundheilung ohne vorangegangene V.A.C.-Therapie eine durchschnittliche Wundheilung von 0,26 cm² pro Tag (1,34 % pro Tag) ermitteln. Die Ergebnisse aus Tabelle 3 (Wundbettvorbereitung mit V.A.C.) ergaben eine Wundheilung von 0,35 cm² pro Tag (2,9 % pro Tag). Der Wundstatus an der Entnahmestelle des Radialislappens, vor Transplantation, war bei allen Patienten als sauber („clean“) einzuordnen. Um jedoch eine Signifikanz der Auswirkung der V.A.C.-Therapie auf die Wundheilungsdauer benennen zu können, wurde mittels unverbundenem Zweistichproben T-Test eine Gegenüberstellung dieser beiden Patientengruppen durchgeführt (s. Tabelle 6).

Proband	Ohne V.A.C. (Wundheilung in cm ² /Tag)	Proband	Mit V.A.C. (Wundheilung in cm ² /Tag)
Patient D	0,03	Patient C	0,20
Patient E	0,21	Patient G	0,28
Patient B	0,23	Patient F	0,58
Patient J	0,34		
Patient H	0,20		
Patient A	0,44		
Patient I	0,41		
Varianz	0,02		0,04
Mittelwert	0,26		0,35

Tabelle 5: Gegenüberstellung – der Patienten mit vorangegangener Wundbettvorbereitung am ventralen Unterarm nach Radialislappenentnahme mittels V.A.C.- und ohne V.A.C.-Therapie.

	Variable 1	Variable 2
Mittelwert	0,26	0,35
Varianz	0,02	0,04
Beobachtungen	7	3
Gepoolte Varianz	0,03	
Hypothetische Differenz der Mittelwerte	0	
Freiheitsgrade (df)	8	
t-Statistik	-0,77	
P(T<t) einseitig	0,23	
Kritischer t-Wert bei einseitigem t-Test	1,86	
P(T<t) zweiseitig	0,47	
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,31	

Tabelle 6: T-Test mit Kontrollgruppe (Patienten ohne V.A.C-Therapie (n = 7)) und Experimentalgruppe (Patienten mit V.A.C.-Therapie (n = 3)); abhängige Variable = Wundheilung in cm² pro Tag und unabhängige Variable = V.A.C.-Therapie;

→ Hypothesen: H0-Hypothese: es gibt keinen Unterschied in der Wundheilungsdauer mit V.A.C.-Therapie und ohne; HA-Hypothese: es gibt einen Unterschied.

Gemäß dieser statistischen Untersuchung (bei geringer Fallzahl), lässt sich keine eindeutige Signifikanz bestimmen ($P(T \leq t) \text{ einseitig} = 0,23$ ist größer als das α -Niveau von 0,05 \rightarrow die Nullhypothese bleibt bestehen). Das Exsudationsvolumen der Probanden vor Therapiebeginn weist jedoch Unterschiede auf, die sich aus dem unteren Diagramm (s. Abb. 22) entnehmen lassen. Hierbei zeigten sich jedoch keine signifikanten Auffälligkeiten zwischen den Wundarealen, welche eine Wundbettvorbehandlung mit Hilfe der V.A.C.-Therapie erhielten und solchen ohne jegliche Vorbehandlung.

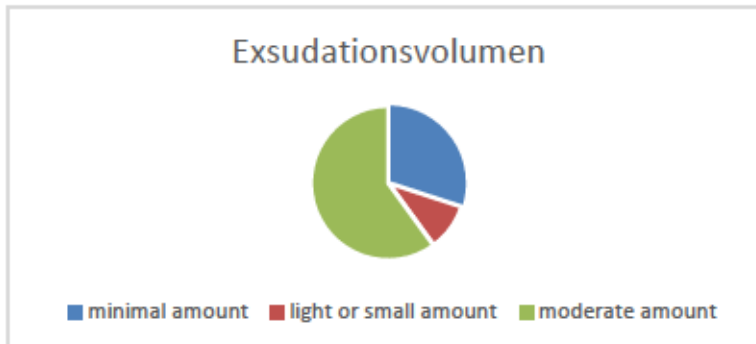


Abb. 22: Exsudationsvolumen an Wundfläche (ventraler Unterarm) vor Transplantation der Microdomes – bei allen untersuchten Patienten im Rahmen dieser Studie; Tortendiagramm mit Unterteilung der Wundsekretion in *minimal* (sehr wenig), *light/small* (wenig), *moderat* (normal); *high amount* wird an dieser Stelle nicht aufgeführt, da diese Kategorie bei keinem der untersuchten Patienten vorlag.

Wie oben bereits beschrieben wurde als nicht-haftende und netzartige Wundauflage das *ADAPTIC TOUCH™* (Firma Systagenix, Gargrave, North Yorkshire) oder wahlweise das *Cuticell®* (BSN medical, Hamburg, Deutschland) genutzt. Diese stellten beide sowohl einen Sekretabfluss sicher und verhinderten ein Verkleben der Auflage mit dem Wundbett. Somit konnten die Verbandswechsel schmerzfrei und komplikationsarm ohne Verrutschen des Transplantates erfolgen.

Das subjektive Schmerzempfinden während des Eingriffs ohne Anästhesie wurde anhand eines Schmerzindex erfragt (s. VAS, Abb. 3) mit 1 für keine Schmerzen bis 10 für nicht mehr ertragbare Schmerzen. Die Auswertung (s. Abb. 23) ergab im Durchschnitt für die Entnahmestelle am Oberschenkel einen Wert von 1,5 und an der Akzeptorstelle bei der Wundbettpräparation einen Wert von 1,1. Die meisten Patienten gaben hierbei jedoch an, dass es sich nicht primär um ein Schmerzgefühl handelt, sondern vorrangig ein Druckgefühl beziehungsweise ein „Saugen“ und die Wärme zu verzeichnen sind.

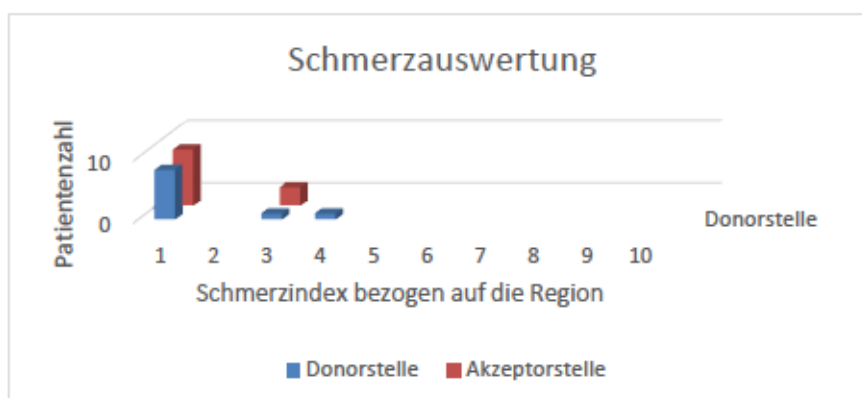


Abb. 23: Verteilung des subjektiven Schmerzempfindens während des Eingriffs – an Donor- und Akzeptorstelle.

Die Entnahme der *Microdome*s an der Donorstelle erfolgte in 60 % der Fälle von der rechten, in 30% der Fälle von der linken Oberschenkelinnenseite und in 10 % von der anterolateralen Schulter rechts, jedoch ohne relevante Unterschiede bei den Ergebnissen. Die benötigte Zeit für den gesamten Eingriff mit Vor- und Nachbereitung, das heißt Wundbettvorbereitung, Rasur und Desinfektion der Donorstelle, Transplantation und Versorgung mit Kompressionsverband, ergab im Durchschnitt 59 Minuten. Wie oben bereits beschrieben unterlag die benötigte Zeit für die *Microdome*-Bildung (Cellutome-Anwendung) der visuellen Kontrolle und ergab im Durchschnitt einen Wert von 35,1 Minuten. Die kürzeste benötigte Zeit bis zum Abschluss der *Microdome*-Bildung lag hier bei 21 Minuten und die längste Dauer lag bei 56 Minuten.

An der Donorstelle war nach Transplantatentnahme ein Schürfwunden ähnliches Areal zu sehen. Dieses heilte bei allen Patienten schmerzfrei und problemlos binnen 7 bis hin zu maximal 28 Tagen (im Durchschnitt 23 Tage). Nach Heilung in dieser Region war keine Wunde oder Ähnliches (Dyspigmentierungen, Vernarbungen) zu sehen.

Es folgen anschließend zwei Patientenbeispiele (s. Abb. 24/25) mit unterschiedlich schneller Reepithelialisierungstendenz mit jedoch in beiden Fällen erfolgreicher Wundheilung ohne Residuum.



Abb. 24: Klinische Fotografie – Donorstelle Fall 1 an Oberschenkelinnenseite (im Verlauf).



Abb. 25: Klinische Fotografie – Donorstelle Fall 2 an Oberschenkelinnenseite (im Verlauf).

Die jüngste Patientin (Proband D/E) mit der schwierigsten Wundheilung, wurde nach 4 Jahren erneut gebeten sich vorzustellen. Sowohl funktionell, subjektiv/objektiv hinsichtlich der Ästhetik als auch bezogen auf die Patientenzufriedenheit konnte ein durchaus positives Ergebnis beobachtet werden (s. Abb. 26). Es wurden im Rahmen des „*Follow-ups*“ Fotos von der Donor- als auch Akzeptorstelle angefertigt. Sowohl die Überprüfung der Beweglichkeit der beiden Handgelenke, als auch die Thermosensibilität und die Zwei-Punkt-Diskrimination fielen positiv aus. Leider konnten die anderen Probanden dieser Studie nicht mehr erreicht werden oder sind währenddessen verstorben.



Abb. 26: Klinische Fotografie – Zustand 4 Jahre postoperativ Patient D/E an Akzeptorstelle am ventralen Unterarm rechts (linkes Bild) und links (rechtes Bild).

Aufgrund eines Rezidivs an anderer Stelle, wurde der besagten Patientin in der Zeit nach unserer Studie ein Vollhauttransplantat in anderer Indikation entnommen. Um den Vergleich zwischen der Entnahmestelle nach einer epidermalen- und nach einer Vollhauttransplantation bei einem Patienten zu visualisieren, folgt eine Gegenüberstellung beider klinischer Bilder (s. Abb. 27).



Abb. 27: Klinische Fotografie – „Follow-up“ Donorstelle, Zustand 4 Jahre postoperativ Patient D/E an Donorstelle (nach Epidermisentnahme) am Oberschenkel (linkes Bild) und Zustand 2 Jahre postoperativ (nach Vollhautentnahme) am Oberschenkel (rechtes Bild).

3.2 Systematische Literaturrecherche

Nachdem die Fragestellung festgelegt worden ist und die Themenblöcke in Anlehnung an die Fragestellung mitsamt auserwählter Suchbegriffe und Schlagwörter gebildet worden sind, konnten die Themenblöcke miteinander durch den Operator „AND“ verknüpft werden. Die verknüpfte Suche im Modus „Advanced Search“ der Literaturdatenbanken *PubMed* und *Cochrane Library* ergab bei Ersterer eine Ergebnisliste von 576 Artikeln und bei Letzterer eine Ergebnisliste von 18 potenziell relevanten Artikeln. Anhand eines Dublettenchecks wurde geprüft, ob die gefundenen Artikel bereits im Suchverlauf detektiert worden sind. Hierbei kam heraus, dass alle auf *Cochrane Library* gefundenen Artikel, bis auf einen Artikel, ebenfalls auf der *PubMed*-Ergebnisliste inbegriffen waren. Nach Sichten der Titel und Abstracts dieser Literatur konnten noch 97 Artikel eingeschlossen werden. Zu jedem dieser Artikel wurde die Option „Similar Articles“ gewählt und ergab eine sehr große Vielzahl an Ergebnissen. Insgesamt wurden im Rahmen dieser erweiterten Literatursuche, um möglichst keine relevanten Studien auszuschließen und die erste Datensuche zu stärken, 14.839 Artikel gefunden. Diese wurden ebenfalls anhand der Titel und Abstracts gesichtet und gesondert aufgeführt. Die erweiterte Suche ergab dann schließlich 15 potenziell relevante Artikel. Diese geringe Anzahl, weist darauf hin, dass durch die Gestaltung der Suche bereits eine hohe Anzahl an wichtigen Artikeln detektiert werden konnte. Es wurden alle Volltexte zu den bis dato gefilterten Artikeln gesichtet, woraufhin die primäre Suche eine Trefferanzahl von 66 und die erweiterte Durchsicht ähnlicher Artikel eine Trefferanzahl von 5 ergaben. Ein *Flow Chart* (s. Tabelle 7) soll diesen Suchverlauf in Kürze graphisch darstellen. Anschließend wurden die inkludierten Studien in Subgruppen sortiert, beschrieben und verglichen.

Wichtig ist an dieser Stelle zu sagen, dass eine bewusste Entscheidung gegen den Einschluss systematischer Reviews oder Meta-Analysen, welche bekanntlich einen hohen Evidenzgrad besitzen, getroffen worden ist. Grund hierfür war das Ziel allein die klinischen Verfahren gegenüber zu stellen und unabhängig von älteren Literaturrecherchen zu diesem Themengebiet [64, 117] eine spezifische und aktuelle Datenlage zu vermitteln. Der Einschluss von einem Patientenkollektiv ab bereits 10 Patienten, wurde in Anlehnung an die hier vorliegende klinisch-prospektive Studie mit 10 Patienten gewählt. Die Ergebnisse und Besonderheiten der eingeschlossenen Studien wurden jeweils innerhalb der Subgruppen beschrieben. Als Übersicht der relevantesten Daten erfolgte zusätzlich eine tabellarische Aufführung, welche im Anhang betrachtet werden kann. Da diese Literaturrecherche unter Ausschluss von systematischen Reviews, Meta-Analysen und Kommentaren erfolgt ist, besitzen die inkludierten Studien einen Evidenzgrad von Ib, IIb, IIc, IIIb, IV (s. Abb. 20).

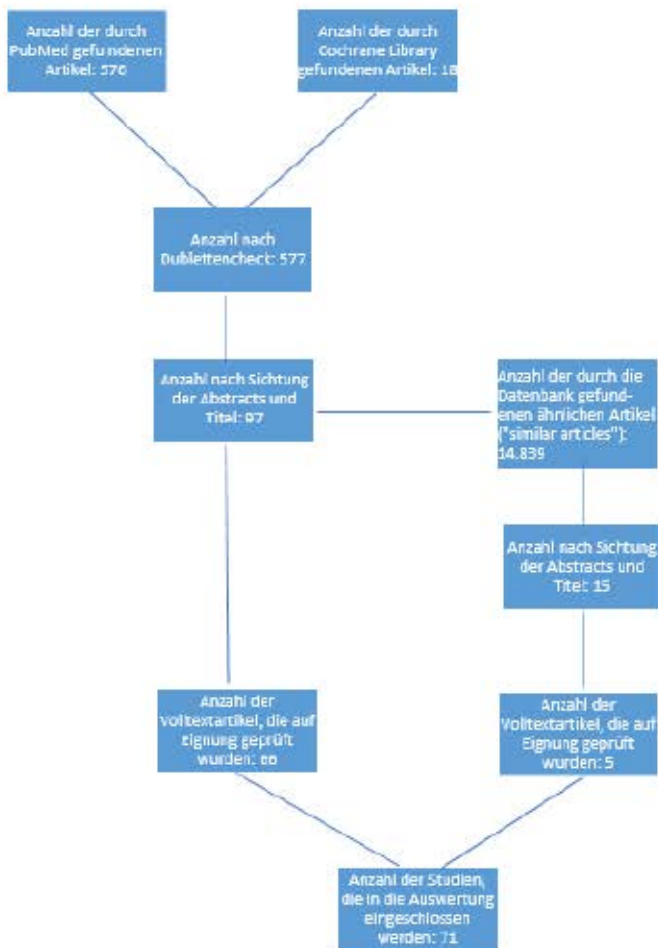


Tabelle 7: Flow Chart – zur Übersicht des Suchverlaufs im Rahmen der systematischen Literaturrecherche.

3.2.1 Deskriptiv zu primärer Wundflächendeckung am ventralen Unterarm

Der direkte Wundverschluss ist laut Literatur die Methode der Wahl, da sowohl eine sofortige Versorgung bei guter Ästhetik, geringem Aufwand und geringer Belastung des Patienten erfolgen kann [121]. Der Nachteil kann unter Umständen jedoch sein, dass nur kleine bis mittelgroße Defekte versorgt werden können, da ansonsten kein spannungsfreier Verschluss möglich ist. Die inkludierten Studien beschreiben verschiedene Schnittführungen und Verfahren, welche die primäre Deckung ermöglichen sollen.

Gemäß *Lane et al.* [122] kann mit ihrer Methode einer erweiterten Schnittführung und Hautverschiebung, dem sogenannten „local hatchet flap“ (s. Abb. 28) ein sicherer primärer Verschluss bei bis zu 4 cm Wundbreite und 6,5 cm Wundlänge gewährleistet werden. Somit ist auch hier die Anwendung limitiert. Um die Spannung zu reduzieren wird intra- und postoperativ das Handgelenk abgewinkelt (Immobilisation mit Splint für 1 Woche). Ästhetik und Funktionalität konnten als gut beschrieben werden, wobei die Griffstärke im Vergleich zum nicht-dominanten Arm um bis zu 5 kg reduziert war.



Abb. 28: „local hatchet flap“ – Methode, Abbildung zum Verlauf (Aus Artikel Nr. 2, *Lane et al.*, [122] Genehmigung erteilt).

Der „*ulnar based transposition flap*“ (UBTF) ist eine ähnliche Methode, die zur primären Defektdeckung der Radialislappenentnahmestelle dient [123]. Einschlusskriterium in die Studie von *Jaquet et al.* war eine Wundgröße von maximal 30 cm². Nach der suprafaszialen Lappenhebung, wurde in der ersten Gruppe ein STSG vom Oberschenkel entnommen (0,35 - 0,45 mm), transplantiert und für 7 Tage mittels Splint immobilisiert. In der zweiten Gruppe wurde gemäß der erstmaligen Beschreibung des „*ulnar-based transposition flaps*“ durch *Elliot et al.* [124] die längliche Seite des RFFF (max. 8 cm) transversal zum Handgelenk ausgerichtet und durfte maximal 1/3 des Handgelenkumfanges betragen. Hierbei durfte die Breite nicht mehr als 5 cm betragen. Diese Entnahmestelle wurde, nach spezieller Schnittführung angrenzend an die RFFF-Entnahmestelle (s. Abb. 29) durch Hauttransposition verschlossen. Es konnten leichte Vorteile der UBTF-Technik gegenüber der traditionellen STSG-Transplantation (s. Abb. 30) aufgezeigt werden, wobei ein häufigeres Auftreten hypertropher Narben beobachtet werden konnte. Die Handgelenksexension nach der Verschiebeplastik war jedoch im Vergleich zum nicht operierten Arm sogar statistisch signifikant erhöht. Somit konnten die Autoren diese Methode bei kleineren Defekten und guter Hautelastizität empfehlen.

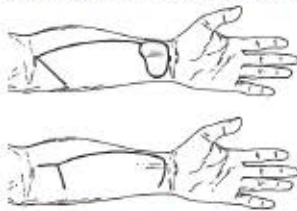


Abb. 29: „*Ulnar based transposition flap*“ – schematisch aufgeführt. Inzision und RFFF mit langer Seite transversal über Handgelenk (oben) und nach Verschluss mittels V-Y-Transposition (unten). (Aus Artikel Nr. 1, *Jaquet et al.*, [123] Genehmigung erteilt).



Abb. 30: UBTF (links), STSG (rechts) – Langzeitergebnisse des „*Ulnar based transposition flaps*“ (links) mit einer hypertrophen Narbe (unten links) und Langzeitergebnisse der Spalthauttransplantation (rechts) (Aus Artikel Nr. 1, *Jaquet et al.*, [123] Genehmigung erteilt).

Mashrah et al. [125] konnten ebenso wie *Lane et al.* eine Reduktion der Griffstärke beobachten. Diese betrug hierbei 3,86 kg. Sie beschreiben eine alternative Schnittführung („*bilobed transposition flap*“), welche effektiv für kleine bis mittelgroße (bis zu 5 cm Länge und 8 cm Breite) Wundflächen ist. Vor dem Eingriff muss die Elastizität der Haut individuell geprüft werden (Verfahren vorzugsweise bei älteren und weiblichen Patienten). Trotz guter Ästhetik und Umgehung einer weiteren Donorstelle, war die Griffstärke und die Beweglichkeit des Handgelenkes postoperativ signifikant reduziert.

Die Handmobilisation kann sofort postoperativ gewährt werden. Laut Autoren ist die Heilungsdauer vergleichbar mit der bei Standardverfahren. Präoperativ ist eine präzise Planung der Schnittführung (s. Abb. 31) und anschließend intraoperativ dessen regelrechte Umsetzung erforderlich.

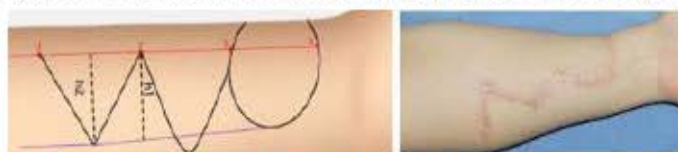


Abb. 31: „*Bilobed flap*“ – Schematische Abbildung (links) der Schnittführung mit klinischem Resultat nach dessen Durchführung (rechts). Nutzung des distalen Lappens (bc) zur primären Deckung der RFFF-Entnahmestelle. Diese Donorstelle wird dann durch den proximalen Lappen (cd) verschlossen-anschließend primärer Verschluss. (Aus Artikel Nr. 3, *Mashrah et al.*, [125] Genehmigung erteilt).

Ein weiteres Verfahren ist der „*Snake flap*“ (langer und schmaler fasziokutaner Lappen) für kleine bis mittelgroße zu deckende Defekte im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich. Er ermöglicht durch die modifizierte Radialislappenform einen primären Wundverschluss. Durch seine schmale aber lange Ausdehnung, ist der modifizierte Radialislappen flexibel und passt sich gut an Konturen an. *Garg et al.* verglichen Patienten, welche mittels „*Snake flap*“ oder mit einem STSG nach konventioneller Radialislappenentnahme versorgt worden sind [126]. Die Gruppengröße war jedoch zugunsten der

STSG-Gruppe ungleichmäßig verteilt. Je nach Größe der zu versorgenden Wunde und der Hautelastizität hat sich der Operateur für ein STSG oder ein „Snake flap“ entschieden. Der entnommene modifizierte Radialislappen wird rotiert, um eine größere Fläche zu erhalten (s. Abb. 32). Die Breite richtete sich hierbei nach der Hautelastizität, um einen primären Verschluss zu ermöglichen. Nachteile hierbei waren jedoch die limitierte Lappenlänge und die eingeschränkte Anwendung bei Patienten mit reduzierter Hautelastizität (z.B. Männer, junge Patienten). Bei STSG besteht hingegen eine erhöhte Tendenz der Sehnenfreilegung und der erhöhten Wundheilungsdauer mit statistischer Signifikanz.



Abb. 32: Zeichnung des „Snake flaps“: Zustand nach direkter Entnahme (unten links) und Zustand nach Rotation zur Verbreiterung des Transplantates (unten rechts).
(Aus Artikel Nr. 4, Garg *et al.*, [126] Genehmigung erteilt).

Ähnlich dem „Snake flap“ beschreiben Zhang *et al.* [127] eine modifizierte Radialislappenentnahme, die je nach Defektgröße der zu deckenden Wunde in Form eines langen und schmalen Radialislappens im Sinne der „perforator-pedicle propeller flap“-Methode [128] subfaszial entnommen wird. Es können zwei Komponenten gebildet werden, welche um die eigene Achse rotiert und miteinander vernäht werden, um eine breitere Fläche zu bilden (s. Abb. 33). Sein schmaler Verlauf dient der besseren Anpassung an die Akzeptorstelle und ermöglicht einen spannungsfreieren primären Wundverschluss. Eine Breite von 3 cm sollte ähnlich wie bei dem „Snake flap“ für die primäre Defektdeckung nicht überschritten werden, die Länge betrug in dieser Studie bis zu 12 cm. Durch die Zweiteilung muss jedoch eine potenzielle venöse Überbelastung berücksichtigt werden, welche im Rahmen dieser Studie nicht beobachtet werden konnte.



Abb. 33: „Bipaddle flap“ nach Entnahme, Rotation, Umformung und Einheilung.
(Aus Artikel Nr. 6, Zhang *et al.*, [127] Genehmigung erteilt).

Ebenso basiert der von Shaikh *et al.* [129] beschriebene schmale Radialislappen auf diesem Prinzip. Nach Durchführung des Allen-Tests, kann der schmale Radialislappen (2 cm x 12 cm statt traditionell 4 cm x 6 cm) gehoben und gefaltet werden (s. Abb. 34), um eine größere Breite zu erreichen und um dennoch einen möglichst spannungsfreien primären Verschluss zu ermöglichen. Funktion und Ästhetik wurden mit dem kontralateralen Arm verglichen. Es konnten laut Autoren quantitativ gute ästhetische und funktionelle Ergebnisse erzielt werden.

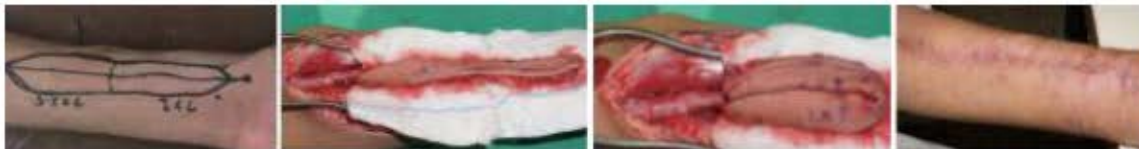


Abb. 34: Schmaler modifizierter Radialislappen – präoperative Planung (links), nach Entnahme (mittig links), nach Rotation (mittig rechts) und nach Einheilung (rechts).
(Aus Artikel Nr. 7, Shaikh *et al.*, [129] Genehmigung erteilt).

Im Rahmen einer Vergleichsstudie haben Chavre *et al.* 15 Patienten nach suprafaszialer Lappenhebung und anschließender Deckung mittels Spalthaut mit 15 Patienten nach modifizierter Radialislappenentnahme und primärem Wundschluss verglichen [130]. Mittels Dopplersonographie wurde zunächst die Arteria radialis markiert und die Lappenbreite bei der modifizierten Technik (circa 2 cm) an dessen Lage angepasst. Die Länge kann hierbei bis zu 10 cm betragen. Der entnommene Lappen kann anschließend in Segmente unterteilt werden, wobei die Inzision bis zur Arterie erfolgen darf und

darauflin durch Rotation und Neuordnung der Segmente die gewünschte Form der zu deckenden Region erzielt werden kann (s. Abb. 35). Die Wunde kann zwar aufgrund der geringen Dimension primär verschlossen werden, jedoch ist die primär zu versorgende Defektgröße nach Resektion auf 5 x 3 cm² limitiert. Als Wundauflage diente ein einfacher Verband ohne Splinte, wobei jedoch in der Gruppe der Spalthauttransplantation eine Immobilisation mittels Splint für 4 Tage notwendig war. Eine Drainage wurde nach 24 - 48 Stunden entfernt. Die modifizierte RFFF-Entnahme weist gemäß Autoren bei kürzerer Wundheilungsdauer statistisch signifikant bessere ästhetische (s. Abb. 36), funktionelle und sensorische Ergebnisse auf. Nachteile sind somit die sehr spezifische und limitierte Akzeptorstelle, mögliche Fehlfunktionen im sensiblen Mundbereich durch das Falten und Vernähen einzelner Segmente, was gegebenenfalls zu Fehlfunktionen im sensiblen Mundbereich (z.B. Zunge) führen kann, aber auch die erhöhte Schwierigkeit bei der mikrovaskulären Chirurgie, da die Venae comitantes genutzt werden müssen.



Abb. 35: Modifizierter Radialislappen – Entnahme und Segmentierung (links). Neuordnung der Segmente zur Transplantatvergrößerung (rechts). (Aus Artikel Nr. 8, *Chavre et al.*, [130] Genehmigung erteilt).



Abb. 36: Klinische Endergebnisse nach Spalthauttransplantation (links) und nach primärem Wundverschluss (rechts). (Aus Artikel Nr. 8, *Chavre et al.*, [130] Genehmigung erteilt).

Eine weitere Methode basierend auf der Segmentierung wurde von *Mateev et al.* in einer umfangreichen Studie beschrieben [131]. Hierbei wird der Radialislappen in Ellipsenform (durchschnittliche Breite 5,12 cm) umschnitten und je nach Größe und Form der zu deckenden Wundfläche werden anschließend 2 oder 3 Segmente gebildet und rotiert (s. Abb. 37). Dies erlaubt die Versorgung größerer Wundflächen, wobei das Risiko einer venösen Überbelastung berücksichtigt werden sollte [132]. Laut Autoren können Defekte bis 5 cm Breite primär verschlossen werden, wobei die Hautelastizität gemäß Alter und Geschlecht ebenfalls eine Rolle spielt. Sowohl die Ästhetik als auch die Funktionalität konnten quantitativ überzeugen.

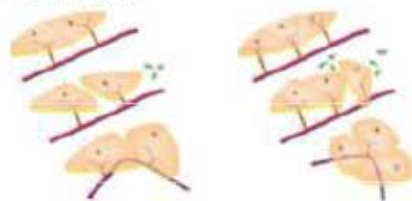


Abb. 37: Schematische Darstellung eines ellipsenförmigen und segmentierten Radialislappens (links 2 Segmente, rechts 3 Segmente). (Aus Artikel Nr. 9, *Mateev et al.*, [131] Genehmigung erteilt).

Ein weiterer modifizierter Radialislappen ist der „V-Lappen“ [133]. Dieser dient der Deckung kleiner bis mittelgroßer Defekte im MKG-Bereich (Maximale angegebene Dimensionen: 5 x 7 cm²) und sollte einen Winkel zwischen 60° und 120° haben (s. Abb. 38). Wenn dieser zu klein gestaltet wird, besteht eine Ischämiegefahr (durch eine erhöhte Spannung) und wenn dieser zu groß ist, würde das überschüssige subkutane Gewebe zwischen beiden Enden zu einer Hypertrophie führen. Der Bereich zwischen beiden Enden bedeckt die Sehne und verhindert somit das Risiko der Sehnenfreilegung (besonders hoch bei STSG). Ziel ist es die Vorteile des „Snake flaps“ und „Kiss Flaps“ [134] zu vereinen und dabei das Risiko der Schädigung der Arteria radialis zu reduzieren, indem der querliegende Teil des Lappens auf der Arterie liegt und diese in sich beherbergt. Es konnten hierbei gute ästhetische

Ergebnisse, jedoch einige funktionelle Einschränkungen beobachtet werden. Postoperativ ist keine Wundkompression notwendig und die Nähte können nach 2-3 Wochen entfernt werden. Auch der Aufenthalt im Krankenhaus ist vergleichbar mit dem nach Eingriffen mittels FTSG/STSG.

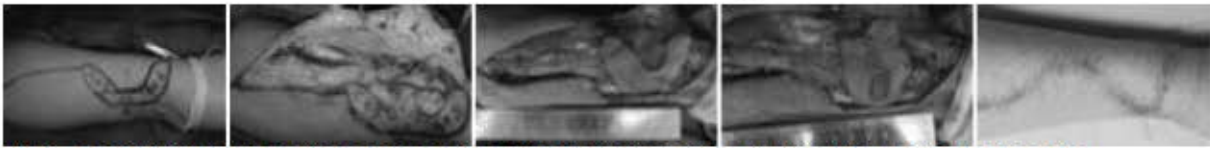


Abb. 38: V-förmiger Radialislappen über der Arteria radialis (links), Lösen und Heben des modifizierten Lappens (links mittig und Mitte), Umformen und Rotieren des Lappens (rechts mittig), Zustand 1 Monat postoperativ (rechts). (Aus Artikel Nr. 5, *Li et al.*, [133] Genehmigung erteilt).

Neben den bis hierhin beschriebenen modifizierten Radialislappen und Verschiebetechniken zur primären Wundversorgung, wurden präfabrizierte Radialislappen beschrieben, die ebenfalls das Ziel haben die Donorstellenmorbidity zu reduzieren.

Hierzu haben *Medina et al.* unter Anästhesie zwei Wochen präoperativ subdermal eine azelluläre humane dermale Matrix (AlloDerm; LifeCell Corp., Branchburg, N.J.) inseriert (s. Abb. 39) [135]. Die dermale Seite wurde auf das Wundbett gelegt und anschließend vor dem Verschluss der Wunde eine Drainage inseriert. Im Rahmen der Tumoroperation wird dann der Radialislappen oberflächlich von der dermalen Matrix (unter Schonung der Epidermis) entnommen und transplantiert. Die Dermis fördert die epitheliale Zellmigration und somit eine bessere Farb- und Formanpassung - insbesondere in der wenig keratinisierten oralen Schleimhaut. Am Unterarm wird ein primärer Wundverschluss durchgeführt und eine Drainage ermöglicht. Alle inkludierten Patienten benötigten eine Radio-/ Chemotherapie, welche parallel durchgeführt wurde. Der Vorteil ist neben der guten Ästhetik ebenfalls, dass keine Haare mittransplantiert werden, größere Wundflächen (hier im Durchschnitt 47 cm²) versorgt werden können, eine schnelle Wundheilung (maximal 4 Wochen) erreicht werden kann und eine postoperative Immobilisation entfällt. Kleine Blutungen nach der Transplantathebung zeigen die Vaskularisation der dermalen Matrix mit dem Wundbett auf. Nachteile dieser Methode sind ein zweiter operativer Eingriff unter Anästhesie, eine präoperative Bandage, die mögliche Kontraktion im Mund nach einer Radiatio und die erhöhten Kosten.



Abb. 39: Humane azelluläre dermale Matrix (0,015 inch) – Eingliederung und Sicherung (links), Ergebnis nach 2 Jahren (rechts). (Aus Artikel Nr. 10, *Medina et al.*, [135] Genehmigung erteilt).

Im Vergleich hierzu wurde im Rahmen einer weiteren inkludierten Studie von *Wolff et al.* (s. Anhang, Artikel Nr. 11) mit vergleichbarer Probandenzahl zunächst ein mit kleinen Inzisionen versehenes 0,5 mm dickes STSG epifaszial während eines ersten operativen Eingriffs unter Narkosebedingungen am ventralen Unterarm subdermal transplantiert [136]. Bei allen Patienten dieser Studie wurde zuvor eine Radiatio (6 Wochen) mit einer kombinierten Chemotherapie für 1 Woche durchgeführt. Die Länge des primären Schnitts beträgt ca. 6 - 8 cm je nach STSG Länge. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Fascia antebrachii nicht verletzt wird und gegen das Verrutschen des STSG dieses an den Ecken vernäht wird. Nach erster Insertion des STSG wird diese mit der darüberliegenden Haut wieder abgedeckt, eine Drainage mittels dünner Gummilasche eingelegt und mit einem leichten Verband versorgt, welcher alle 2 - 3 Tage gewechselt wird. Nach 2 Wochen erfolgt dann die mikrovaskuläre Hebung des Spalthautfasienlappens (Spalthaut um ca. 10 - 15 % geschrumpft) nach erfolgreicher Vaskularisierung unter Schonung der oberflächlichen Haut. Dieser Lappen ist sehr gut an die Mundhöhle adaptierbar und zeigt eine gute Einheilung. Anschließend erfolgt erneut ein lockerer Verband für etwa 3 - 5 Tage ohne

weitere Immobilisierung. Zwar ist die Vorlaufzeit von mindestens 2 Wochen, eine weitere iatrogen erzeugte Wundfläche, die Notwendigkeit eines zweiten operativen Eingriffs unter Narkosebedingungen und der Zeit- und Kostenaufwand zu berücksichtigen, jedoch konnten bei spannungsfreiem direkten Wundverschluss, keine Bewegungseinschränkungen, Funktionseinschränkungen oder ästhetische Defizite beobachtet werden.

Um eine extraorale sekundäre Donorstelle zu vermeiden und zudem intraorale Defekte nicht mit Haut, sondern der Akzeptorstelle gleichenden und mukösen Schleimhaut zu decken, wurde von *Tairysh et al.* eine weitere Methode beschrieben, in der mittels präfabriziertem Mukosa-Faszienlappen eine Deckung angestrebt wurde [137]. Diese Methode wurde mit der konventionellen Radialislappenentnahme und anschließender Deckung mittels Spalthaut (zuvor Bedeckung der Sehne mit umliegendem Gewebe) verglichen (s. Abb. 40). Im Rahmen eines ersten Eingriffs wurden die Markierung des Tumors, die Durchführung anfallender Zahnsanierungen und die Entnahme beziehungsweise die epifasziale Eingliederung und Fixierung von bukkal entnommener Mukosaschleimhaut durchgeführt. Anschließend erfolgte die Insertion einer Drainage und die Immobilisierung der Hand für 1 Woche. Nach etwa 8 - 10 Wochen der Radiatio und der Chemotherapie, wurde dann der zweite operative Eingriff zur Transplantation des mikrovaskulären Mukofasziallappens und der direkte Wundverschluss angesetzt. Darauf folgte eine einwöchige postoperative Immobilisierung. Die Gruppe mit dem präfabrizierten Radialislappen zeigte einige Vorteile hinsichtlich Funktion (quantitativ), Ästhetik (qualitativ) und Heilungsdauer, wobei dennoch auch hier eine zweiphasige und elongierte Therapie berücksichtigt werden müssen. Zudem muss beachtet werden, dass die enorale Mukosaentnahme unter Umständen angrenzend an den tumorös befallenen Bereich erfolgt und daher ein gewisses Risiko beziehungsweise erhöhtes Maß an Erfahrung und Präzision Voraussetzung ist.



Abb. 40: Klinische Endergebnisse nach Transplantation des Mukofasziallappens (links) und nach Transplantation des Spalthautlappens (rechts).
(Aus Artikel Nr. 12, *Tairysh et al.*, [137] Genehmigung erteilt).

3.2.2 Deskriptiv zu Gewebeexpansion

Wie bereits oben beschrieben ist oftmals das limitierte Hautangebot am ventralen Unterarm Ursache dafür eine primäre Defektdeckung ausschließen zu müssen, um aufgrund erhöhter Spannungen ein Rezidiv oder gar funktionelle Einschränkungen zu umgehen. Daher wurden in der Literatur Verfahren zur Hautexpansion beschrieben, um die Hautquantität für eine potenzielle primäre Versorgung oder auch die Chance einer Verkleinerung der Wundfläche zu steigern. Hierbei gibt es sowohl invasive als auch non-invasive Verfahren.

Bonaparte et al. beschreiben eine non-invasive, einfache und kostengünstige Methode, die eine Reduktion der Morbidität und des Spalthautbedarfs ermöglicht [61]. Hierzu werden *Tapes* (DynaClose, Canica Design Inc., Montreal, Canada) 1 - 2 Wochen präoperativ jeweils am distalen als auch am proximalen Anteil des Unterarms angebracht, um die Haut aus der benachbarten Region in Richtung Donorstelle zu verschieben (s. Abb. 41). Am Morgen der Operation wurden die *Tapes* (Verlustrate 19,3 %) entfernt. Ziel war es die Haut zu expandieren und in erster Linie einen primären Verschluss zu erzielen. Falls dies nicht möglich sein sollte, sollte jedoch der Bedarf an Hauttransplantaten reduziert werden, indem nach erster Wundflächenreduktion der Hautüberschuss im Sinne eines FTSG zum Verschließen der Donorstelle genutzt wurde (s. Abb. 43). Falls dies nicht möglich war, sollte die Radialislappenentnahmestelle so verkleinert werden, dass nur noch ein kleines STSG benötigt wurde. Der Radialislappen wurde ellipsenförmig ausgeschnitten und subfaszial entnommen. Im Rahmen dieser Studie erfolgte nach

präoperativer Gewebeexpansion der Verschluss der Donorstelle entweder primär (27,6 %) oder nach Verkleinerung der Wundfläche mit lokalem Vollhauttransplantat (67,7 %), (s. Abb. 42/43). Falls das Vollhauttransplantat nicht ausreichend war (Wunde größer als 5 - 15 cm²), wurde ein Spalthauttransplantat (0.010 - 0.012 inches) mittels Dermatome aus dem Oberschenkel entnommen und transplantiert (4,5 %). In allen Fällen erfolgte ein täglicher Verbandswechsel bis zur Heilung. Nach direktem Verschluss erfolgte diese im Durchschnitt nach bereits 3,6 Tagen und bei der lokalen Vollhauttransplantation nach 8,7 Tagen. Bei den Spalthauttransplantaten wurde ein Splint zur Immobilisation für 5 Tage eingegliedert und anschließend ein täglicher Verbandswechsel durchgeführt (Heilung im Durchschnitt nach 13,6 Tagen). Die Wundfläche am Oberschenkel wurde ebenfalls abgedeckt und alle 5 Tage neu versorgt. Bei jungen männlichen Patienten ist durch die straffe Haut die Effizienz der *Tapes* fraglich. Die Mehrheit konnte zwar nicht primär verschlossen werden, jedoch war durch die Hautexpansion eine Größenreduktion von bis zu 50 % möglich und lässt somit eine schnellere und sicherere Wundheilung zu (geringe Lappenverluste: 4 von 177). Zudem kann im Vergleich zur Versorgung mit STSG eine Schmerzreduktion um 40 % bei Umgehung einer weiteren Donorstelle, eine Reduktion der Wundheilungsdauer von 75 % und eine Kostenreduktion erzielt werden [138], [139].



Abb. 41: DynaTapes je nach Umfang des Unterarms (A) werden 2-3 platziert und ziehen die umgebende Haut nach median. Ein weiteres DynaTape (B), um eine lokale Vollhauttransplantatentnahme zu ermöglichen. (Aus Artikel Nr. 13, Bonaparte et al., [61] Genehmigung erteilt).



Abb. 42: Zustand nach primärem Verschluss (8,5 cm x 6 cm) (A) und Ergebnis nach 10 Monaten. (Aus Artikel Nr.13, Bonaparte et al., [61] Genehmigung erteilt).



Abb. 43: Partieller primärer Verschluss durch Wundannäherung (links) - Anfängliche Wundgröße 8 cm x 7 cm. Anschließende Entnahme eines lokalen Vollhauttransplantates - Verbleibende Defektgröße 2 cm x 3 cm. (Aus Artikel Nr. 13, Bonaparte et al., [61] Genehmigung erteilt).

Mit dem Ziel zum einen genügend Haut zu generieren für einen primären Verschluss und zum anderen die häufig auftretenden Nachteile anderer Expansionsverfahren (z.B. Silikon Ballon-Expander) wie Minderperfusion beim Befüllen, Infektionen, hohe Druckentfaltung, höhere Komplikationsraten und Expanderperforationen zu umgehen, beschreiben *Bergé et al.* die Gewebeexpansion mittels osmotisch aktivem Hydrogelexpander [59, 60], [140, 141].

Die Expander werden mit einem Startvolumen von 10 ml implantiert und befüllen sich selbst durch osmotischen Austausch mit der Flüssigkeit aus der Umgebung bis zu einem Maximalwert von 100 ml (s. Abb. 44). Danach findet keine weitere Befüllung statt. Der Expander wird 20 Tage präoperativ und lateral der geplanten Stelle zur Radialislappenentnahme über einen ca. 3 cm langen Schnitt epifaszial implantiert (s. Abb. 45). Dies geschah in 7 von 10 Fällen in Vollnarkose und 3 von 10 Fällen in lokaler Anästhesie. Die Entnahme des Radialislappens und des Expanders wurden gleichzeitig durchgeführt. Vorteile dieser Expander sind, dass diese robuster und schneller zu im- und explantieren sind. Auch der langsame Anstieg der Expansion führt zu einem sehr schmerzarmen Verfahren. Dennoch muss die Gefahr von Wunddehiszenzen und Hautnekrosen beachtet werden und daher die Expansion weiterhin alle 5 Tage beobachtet werden, was einem erhöhten klinischen Aufwand entspricht. Bei Zwischenfällen kann die Menge zudem nicht reduziert werden (d.h. bei Perforationen muss der Expander vorzeitig

explantiert werden). Aufgrund dieses Risikos wird der osmotisch aktive Hydrogel-Expander für kleinere Wundflächen empfohlen. Die prolongierte Zeit der Hautexpansion bis zum tumorchirurgischen Eingriff sollte, wenn notwendig für eine präoperative Radiatio genutzt werden.



Abb. 44: Osmotisch aktiver Hydrogel-Expander vor Implantation (links) und nach Explantation (rechts). (Aus Artikel Nr. 14, Bergé et al., [59] Genehmigung erteilt).



Abb. 45: Tunnelierung zur Implantation des Expanders lateral der Entnahmestelle. (Aus Artikel Nr. 14, Bergé et al., [59] Genehmigung erteilt).



Abb. 46: 3 Monate postoperatives Endergebnis. (Aus Artikel Nr. 14, Bergé et al., [59] Genehmigung erteilt.)

3.2.3 Deskriptiv zu Wundflächenreduktion

Wie oben bereits beschrieben sind die Techniken zum primären Wundverschluss unter Umständen auf eine Breite von circa 2 - 3 cm limitiert. Neben der Gewebeexpansion und dem daraus resultierenden primären Wundverschluss oder aber auch die damit einhergehende Wundflächenverkleinerung, werden in der Literatur weitere Methoden beschrieben. Durch spezielle Nahttechniken soll der Bedarf an freien Hauttransplantaten und somit eine Reduktion des Risikos von zusätzlichen Schmerzen, Infektionen, Wundheilungsstörungen, großer Entnahmestellen (*limited donor-site skin*) und der erhöhten Donorstellenmorbidity ermöglicht werden.

Moazzam und Gordon beschreiben im Rahmen einer randomisierten klinischen Vergleichsstudie ein Verfahren zur Wundrandadaptation [62]. In einer Gruppe wurde die Wundfläche mittels Naht verkleinert und anschließend mittels Spalthaut versorgt (s. Abb. 47). In einer zweiten Gruppe wurde die Wundfläche mittels Spalthaut versorgt, ohne vorherige Wundflächenreduktion. Bei kleineren Restwundenflächen wurde ein STSG aus dem Unterarm oder bei größeren Defekten aus dem Oberschenkel entnommen (hier später bessere Heilung der Donorstelle als bei STSG aus Unterarm). Die Wundabdeckung und ein Splint wurden angebracht und nach 5 Tagen kontrolliert. Der Splint wurde für 10 - 14 Tage belassen und anschließend durch einen Verband ersetzt. In der ersten Gruppe konnte eine Wundgrößenreduktion von durchschnittlich 53 % erreicht werden. Die Reduktion der Narbe betrug in Gruppe 1 nach 3 - 7 Monaten durchschnittlich 65 %, in Gruppe 2 38 %. Als Vorteile des Verfahrens werden die Vermeidung der natürlichen Expansion der Wundfläche, die Verkleinerung der Defektgröße (signifikant), die Möglichkeit der Deckung großer Flächen bis zu 264 cm², die verkleinerte Narbenfläche und der einfache Eingriff genannt. In der Studie konnten keine Transplantatverluste im Gegensatz zur Kontrollgruppe ohne vorherige Wundflächenverkleinerung beobachtet werden, wobei funktionell jedoch keine signifikanten Unterschiede zu vermerken waren.



Abb. 47: „Cross-suturing“. Schematische Zeichnung (links) und klinische Situation (links mittig). Verbleibende Wundfläche nach dem „cross-suturing“ (mittig rechts) und nach 6 Monaten Heilung (rechts). (Aus Artikel Nr. 15, Moazzam/Gordon et al., [62] Genehmigung erteilt).

In einer klinischen Studie haben *Winslow et al.* nach der subfaszialen Radialislappentnahme die Wundränder über eine Naht (Polyglactin, 3.0 - selbst resorbierend) aneinander adaptiert und somit die

Wundfläche verkleinert (s. Abb. 48) [63]. Durch diese Nahttechnik konnte die Wundfläche von durchschnittlich 61 cm² auf 34 cm² reduziert werden (Reduktion um 44,5 %). Anschließend erfolgte eine Spalthauttransplantation. Durch die kleinere zu versorgende Wundfläche besteht ein kleineres Risiko der Transplantatabstoßung (laut Autoren 9%-geringer als sonst in der Literatur angegeben), da nur ein geringer Bereich der Sehne frei liegt. Die Ästhetik ist aufgrund eines kleineren Transplantates sowohl an der Donor- als auch an der Akzeptorstelle verbessert. Es können Wundflächen bis zu 140 cm² versorgt werden. Jedoch bedarf dieses Verfahren ebenso eine Immobilisierung mittels Splint für 5 Tage.



Abb. 48: „Pursestring“- Verfahren. Einzelnaht zur Vereinfachung des Verfahrens (links), Zustand nach erfolgter Verkleinerung der Wundfläche mittels „Pursestring“ (Mitte), Zustand 12 Monate postoperativ (rechts). (Aus Artikel Nr. 16, Winslow et al., [63] Genehmigung erteilt).

3.2.4 Deskriptiv zu allogenen, xenogenen und alloplastischen Transplantaten

Byun et al. transplantierten nach der Radialislappenentnahme einzeitig ohne zweiten Eingriff oder auch weiterer Donorstelle eine zweilagige porkine kollagene Membran (Rapiderm®, Dalim Tissen Medical Co., Seoul, Korea), welche der Epidermis und Dermis ähnelt (s. Abb. 49) [101]. Diese sind jeweils mit einer Dicke von 1 mm in zwei unterschiedlichen Größen erhältlich: 10 x 10 cm² oder 8 x 6 cm² und wurden je nach Wundgröße gewählt. Der Eingriff am Unterarm beträgt etwa 30 Minuten und wird anschließend mit einem Druckverband und einem Extensionssplint für 2 - 3 Wochen versorgt. Fortan wurde alle 7 Tage bis zur Einheilung ein Verbandswechsel durchgeführt (vollständige Heilung nach etwa 4 - 6 Wochen). Hinsichtlich Komplikationen, funktioneller und ästhetischer Parameter konnten bei den untersuchten Patienten mit einer durchschnittlichen Wundfläche von 27.75 ± 3.08 cm² zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden (s. Abb. 50). Laut Autoren sind jedoch noch weitere Studien mit einer größeren Anzahl an Patienten notwendig.

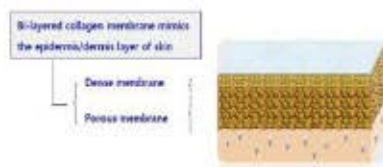


Abb. 49: Schematischer Aufbau der porkinen kollagenen Membran. (Aus Artikel Nr. 17, Byun et al., [101] Genehmigung erteilt).



Abb. 50: Xenogene Membran. Defekt nach Radialislappenentnahme und Anpassung (A), Fixierung der Membran an den Wundrändern (B), Zustand 6 Wochen postoperativ: Granulationsgewebe (C). Zustand Heilung nach 12 Wochen (D). (Aus Artikel Nr. 17, Byun et al., [101] Genehmigung erteilt).

Eine weitere Studie von Hunger et al. hat die zuvor schon auf anderen Einsatzgebieten erfolgreich angewandte Transplantation amniotischer Membran, zur Defektdeckung nach Radialislappenentnahme, untersucht [142]. Nach 1 Jahr objektiver Kontrolle konnten gemäß den Autoren gute ästhetische und funktionelle Ergebnisse, bei geringer Komplikationsrate wie zum Beispiel Wundinfektionen, konstatiert werden. Nach suprafaszialer Lappenhebung und Verkleinerung der Wundfläche mittels Naht, wurde ein täglicher Verbandswechsel bis zur ausreichenden Granulierung der Donorstelle (circa 31 Tage) durchgeführt. Anschließend wurde im Rahmen eines zweiten operativen Eingriffs das Transplantat angenäht und mit einem Druckverband für bis zu 3 - 4 Wochen versehen (s. Abb. 51). Es wird eine tendenziell verlängerte durchschnittliche Heilungsdauer von 62,5 +/- 9,3 Tagen angegeben. Die amniotische Membran entstammt der Plazenta gesunder Mütter nach einem Kaiserschnitt. Diese wird

im Labor aufbereitet bis ein seronegatives Transplantat entsteht, welches dann auf einen Träger gegeben wird. Dieses Transplantat ist in unterschiedlichen Größen verfügbar ($3 \times 3 \text{ cm}^2$, $3 \times 2 \text{ cm}^2$ and $8 \times 8 \text{ cm}^2$) und wird in einem Kryomedium -80°C aufbewahrt [142]. Vor der Anwendung erfolgt dann das Auftauen im Wasserbad bei 37°C . Das Verfahren basiert auf den zusätzlich verfügbaren epithelialen und fibroblastischen Wachstumsfaktoren zur Beschleunigung und Förderung des Heilungsprozesses und besitzt zudem eine antimikrobielle Wirkung. Durch das Gleiten der Membran wird einer Sehnenadhäsion entgegengewirkt. Ein positiver Einfluss von Antihypertensiva und ein negativer Einfluss von erhöhtem BMI konnten ebenfalls beschrieben werden.



Abb. 51: Amniotische Membran. Granulationsgewebe vor Transplantation (links) und nach Transplantation von amniotischer Membran (mittig links). Epithelmigration von peripher nach zentral (3 Wochen nach Transplantation) (mittig rechts) und nach 12 Monaten „follow-up“ (rechts). (Aus Artikel Nr. 18, *Hunger et al.*, [142] Genehmigung erteilt).

Die Versorgung der Wundfläche kann ebenfalls mit kombinierten Transplantaten stattfinden. Diese Art der Versorgung haben unter anderem *Lee J.-W. et al.* untersucht [143]. Hierbei wurde in einem zweiphasigen Prozess nach Radialislappenentnahme das Terudermis (artifizielle Dermis) auf die Wundfläche und nach etwa 15 Tagen ein STSG vom Oberschenkel transplantiert, welches nach 7 Tagen eine Einheilung aufwies (s. Abb. 52). Das Terudermis (Terumo Inc, Japan), ist ein poröses Kollagen und wird aus boviner Sehne gewonnen. Es besteht aus 2 Lagen (oben Silikon und unten Kollagen). Nach seiner Adaptation wurde ein Kompressionsverband angelegt (Wechsel alle 2 Tage) und eine Ruhigstellung erfolgte mittels Splint. Trotz des zweiten operativen Eingriffs (Dauer jeweils 30 Minuten), einer zweiten Donorstelle und der erhöhten Kosten, konnte eine verbesserte funktionelle und ästhetische Heilung (ähnlich FTSG) bei verkürzter Heilungsdauer, bei großflächigen Wundflächen ($115,4 \text{ cm}^2$) und bei geringer Morbidität erreicht werden. Aufgrund der Bildung von Neodermis und der damit einhergehenden Polsterung des Wundbettes, können weitere Wundbettpräparationen (Sehnen, Muskulatur) und die Entnahme eines dicken Spalthauttransplantates, bei Nachbildung einer Vollhaut am Unterarm umgangen werden.

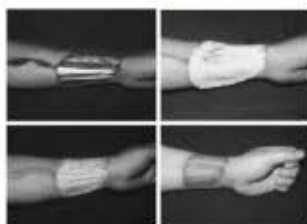


Abb. 52: Artifizielle Dermis. Wundfläche nach Radialislappenentnahme (oben links), Auflagerung artifizieller Dermis (Terudermis) und dessen Anheilung (oben rechts/unten links). Zustand 3 Monate postoperativ nach Spalthauttransplantation auf Terudermis-Wundbett. (Aus Artikel Nr. 28, *Lee J.-W. et al.*, [143] Genehmigung erteilt).

Eine weitere kombinierte Methode ist das nach der suprafaszialen Lappenhebung auf die Wundfläche angepasste und direkt angenähte artifizielle und xenogene Transplantat, Integra (Integra LifeSciences, Plainsboro, NJ), welches somit schnell und auch in Notfällen vorhanden ist (s. Abb. 53). Sie besteht aus einer Matrix, welche für eine Wundheilung von Fibroblasten und endothelialen Zellen besiedelt wird. Diese hat eine äußere Silikonschicht und eine innere bovine Kollagenschicht. Die innere Schicht dient der Anheilung und die äußere Schicht als Schutzschicht und epidermale Flüssigkeitsbarriere. Die Anwendung dieses Transplantates mit anschließender Spalthauttransplantation wurde von *Murray et al.* beschrieben [144]. Postoperativ wurde nach 1 - 5 Wochen ein dünnes STSG (0.016 inches) aus dem Oberschenkel transplantiert (s. Abb. 54). Zuvor wurde die obere Silikonschicht entfernt und ein Wunddebridement durchgeführt. Diese Methode ist bei multimorbiden Patienten nicht einzusetzen, da ein erhöhtes Risiko bei einer zweiten Operation gegeben ist. In diesen Fällen, ohne folgendes Spalthauttransplantat, konnten hypertrophe Narben beobachtet werden.

Anschließend erhielten einige der Patienten einen Wundverband und Andere die Applikation einer V.A.C.-Apparatur für 6 Tage mit anschließendem Verband für weitere 2 - 3 Wochen. Die Patienten, welche nach der Integra-Transplantation mit einer V.A.C.-Apparatur versorgt wurden, hatten tendenziell weniger Komplikationen und Wundheilungsstörungen. Die Autoren beschreiben die Nachteile wie den zweiten operativen Eingriff und die hohen Kosten (1000 - 3000\$) als gut vertretbar aufgrund der besseren funktionellen und ästhetischen Ergebnisse und empfehlen diese Methode, wenn ein FTSG aufgrund der Wundgröße nicht möglich ist.



Abb. 53: Integra. Vorbereitung (oben), Anpassung (Mitte) und Annähen (unten) von Integra. (Aus Artikel Nr. 19, Murray et al., [144] Genehmigung erteilt).



Abb. 54: Klinische Bilder. Entfernen der oberen Schicht von Integra (a) mit darunterliegender Wundfläche nach Debridement (b). Wundfläche mit Neodermis-bedeckter Sehne und Muskulatur (c). Zustand nach STSG-Transplantation (d). (Aus Artikel Nr. 19, Murray et al., [144] Genehmigung erteilt).



Abb. 55: STSG. Zustand 3 Monate nach STSG-Transplantation. (Aus Artikel Nr. 19, Murray et al., [144] Genehmigung erteilt).

Wirthmann et al. beschreiben ebenso eine Zwei-Phasen Defektdeckung nach subfasziärer Lappenhebung durch Integra (Integra Life Sciences, Plainsboro, NJ, USA) mit anschließender Spalthauttransplantation (s. Abb. 56) [145]. In einem ersten Schritt soll hier durch Nahttechnik die Defektgröße verkleinert und das Integra (außen aus Silikonlage und innen aus einer dermalen Ersatzschicht (bovin)) transplantiert und mit einem Überknüpfverband für 3 Wochen versorgt werden. Anschließend wurde nach ausreichender Vaskularisation ein STSG in einem zweiten operativen Eingriff vom Oberschenkel entnommen und transplantiert. Hierauf folgte eine Immobilisation mittels Splint für 3 - 4 Wochen. Die innere Schicht dient der Einwanderung von dermalen Zellen und Remodellationsprozessen ohne Narbenbildung oder Kontraktion. So kann eine direkte Deckung der Wunde, die Risikominimierung von Sehnenfreilegungen und ein Gleiten der darunterliegenden Strukturen gewährleistet werden und somit das Risiko von Adhäsionen und Mobilitätseinschränkungen reduziert werden. Es sollten trotz guter ästhetischer und funktioneller Ergebnisse, die Notwendigkeit eines zweiten operativen Eingriffs und die hohen Kosten berücksichtigt werden, welche auch hier laut Autoren aufgrund der guten Langzeitergebnisse und schnellen Heilung jedoch wieder ausgeglichen werden.

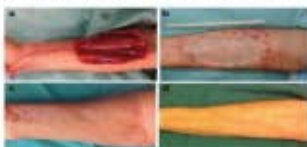


Abb. 56: Defektdeckung mit Integra a) intraoperative Aufsicht b) 3 Wochen postoperativ, c) 24 Monate postoperativ, d) circa 51 Monate postoperativ. (Aus Artikel Nr. 27, Wirthmann et al., [145] Genehmigung erteilt).

Um eine weitere Donorstelle und einen zweiten Eingriff zu vermeiden beschrieben Duteille et al. die alleinige Nutzung von Integra und in 2 Fällen einer anschließenden epidermalen Hauttransplantation [146]. Bei einer Transplantation von dünner autogener Epidermis ist eine Anfrischung des Integras auf der Wundfläche bis zum Eintreten kleiner Blutungen notwendig. Sie konnten eine hohe ästhetische und funktionelle Zufriedenheit bei einer durchschnittlichen Wundheilungsdauer von 4,8 Wochen erreichen.



Abb. 57: Wundflächen 12 Monate postoperativ nach Integra. (Aus Artikel Nr. 23, Duteille et al., [146] Genehmigung erteilt).

Ein allogenes System, welches eine einzeitige Durchführung des Eingriffs ermöglichen soll, wird unter anderem von *Rowe et al.* beschrieben [104]. Hierbei wird nach der Lappenhebung das AlloDerm (Lifecell, Branchburg, NJ), also eine azelluläre dermale Matrix (durch Kälte von der Epidermis und den dermalen Zellen befreit), welche von menschlichen Leichen gewonnen wird angebracht. Sie besitzt eine zusätzliche kollagene Schicht für die zur Wundheilung benötigte Revaskularisierung. Im Rahmen der Transplantataufbereitung werden zudem Bakterien und Pilzbefälle ausgeschlossen. Über Blutproben werden zudem das Vorliegen von Erkrankungen wie unter anderem Hepatitis und Syphilis überprüft. Bislang konnten laut Autoren unter einer Million Transplantationen keine Erregerübertragungen festgestellt werden. Das AlloDerm (vorzugsweise mit einer Dicke von 0.020 inch, da sonst die Revaskularisierung behindert werden kann) verhält sich wie ein physiologisches Wundbett und erlaubt dem darüberliegenden Transplantat ebenfalls durch Plasmadurchfluss und dessen Aufnahme eine Heilung binnen 2 - 5 Tagen. Nach der AlloDerm-Applikation wird einseitig ein sehr dünnes Spalthauttransplantat (0.0080 inch) adaptiert und beide gemeinsam mit dem Wundrand vernäht. Hierbei verbleibt eine kleinere und besser heilende STSG-Donorstelle. Vorteil dieser Methode ist zudem eine verbesserte Ästhetik und Funktionalität bei höherer Patientenzufriedenheit und einem zum FTSG vergleichbaren Transplantat mit jedoch sehr dünnem STSG. Dies zeigte sich insbesondere im direkten Vergleich mit der Kontrollgruppe, welche nur ein STSG erhielt und eine erhöhte Komplikationsrate, Verlust der Funktionalität mit vermehrter Parästhesie aufwies (s. Abb. 58/59). Einige Patienten erhielten eine V.A.C.-Therapie mit maximal -75 mmHg. Darüber hinaus kann es eher zu Abstoßungsreaktionen kommen. Eine Ruhigstellung des Handgelenkes sollte für eine Dauer von 3-5 Tagen erfolgen.



Abb. 58: Zustand nach AlloDerm +STSG - Fingerextension operierter und kontralateraler Arm (links), Fingerflexion operierter und kontralateraler Arm (rechts). (Aus Artikel Nr. 20, *Rowe et al.*, [104] Genehmigung erteilt).



Abb. 59: Zustand nach STSG-Transplantation - Neutrale Fingerposition operierter Arm (links), Fingerflexion operierter Arm (rechts). (Aus Artikel Nr. 20, *Rowe et al.*, [104] Genehmigung erteilt).

Da gute Ergebnisse mit der Anwendung von AlloDerm (Lifecell, Brandenburg, New Jersey) in ersten Studien erzielt werden konnten, jedoch dieses Verfahren eine verlängerte Wundheilung mit sich bringt, untersuchten *Wester et al.* im Rahmen einer größer angelegten Studie Patienten, welche nach suprafaszialer Lappenhebung mittels AlloDerm und Spalthauttransplantaten versorgt wurden (s. Abb. 60). Als Kontrollgruppe dienten Patienten, welche ausschließlich ein Spalthauttransplantat erhalten haben [147].

Die dünnen Spalthauttransplantate (0.015 inch) sollten nach Möglichkeit aus dem Unterarm entnommen werden, wobei diese Option je nach Wundfläche limitiert war. Durch die einzeitige Insertion von AlloDerm und Spalthaut kann ein weiterer operativer Eingriff umgangen werden und zeitgleich ein Vollhauttransplantat nachgebildet werden, ohne einen tiefen Defekt zu hinterlassen. Bei relativ gleich dimensionierten Wundflächen konnten in der AlloDerm-Gruppe zwar keine Vorteile hinsichtlich Morbidität und Kosten erzielt werden, jedoch wurde weniger Spalthaut benötigt und auf lange Sicht eine höhere Patientenzufriedenheit, Funktionalität und Ästhetik erreicht. Im Falle einer möglichen Transplantatabstoßung erfolgt eine sekundäre Wundheilung, wodurch eine erneute Deckung mit einem weiteren STSG bei verlängerter Immobilisierung (Splint) im Gegensatz zur Kontrollgruppe entfällt.



Abb. 60: Zustand nach Heilung eines Komposittransplantates bestehend aus AlloDerm und Spalthaut. (Aus Artikel Nr. 24, *Wester et al.*, [147] Genehmigung erteilt).

Des Weiteren konnte eine ähnlich kurze Wundheilungsdauer (5 Wochen bei unkomplizierten Defekten) in beiden Gruppen, aber auch eine kürzere Heilungszeit im Vergleich zu den Ergebnissen aus der Studie von *Sinha et al.* (2 - 3 Monate) erzielt werden [100]. Bei auftretenden Komplikationen geben aber auch *Wester et al.* Zeiten von bis zu 11 Wochen in der AlloDerm- und STSG-Gruppe und von bis zu 16 Wochen in der STSG-Gruppe an [147].

Zur Umgehung einer weiteren iatrogen erzeugten Donorstelle untersuchten *Sinha et al.* ein Verfahren zur Deckung der Radialislappenentnahmestelle (s. Abb. 61), ohne jegliches Spalthauttransplantat, mit einem dicken allodermalen Transplantat (800 - 900 Mikrometer), (AlloDerm, LifeCell Corp., Branchburg, NJ) [100]. In unterschiedlichen Größen erhältlich, wurden im Rahmen dieser Studie meist Transplantate in der Größe 5 x 11 cm² genutzt. Diese wurden für mindestens 10 Minuten bis maximal 4 Stunden rehydriert und abschließend zwei Mal für jeweils 5 Minuten in physiologischer Kochsalzlösung gereinigt. Mit einer antibiotischen Lösung wird das Wundbett vorbereitet und das Transplantat anschließend eingenäht und mit einem leichten Verband und dorsalem Splint (2 - 3 Tage) versehen. Jegliche Ansammlung von Flüssigkeit unterhalb des Transplantates wird abgesaugt und anschließend mit einem Wundverband versorgt, welcher jeden Tag bis zur Wundheilung erneuert wird. Zudem wird jeden Tag eine antibiotische Salbe aufgetragen, um die Wundfläche feucht zu halten. Das Transplantat bedarf einer besonderen Aufbereitung bis zur Nonimmunogenität und Konservierung (*freeze-drying*), da es aus menschlichen Leichen besteht. Zu beachten ist trotz guter ästhetischer (leichte Narbenkontraktionen) und funktioneller Ergebnisse bei Umgehung einer weiteren Donorstelle, eine im Vergleich zu Standardverfahren verlängerte Wundheilungsdauer mit erhöhtem Kontrollaufwand.

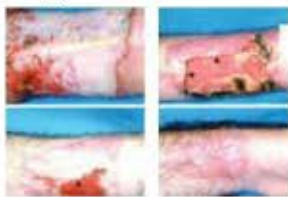


Abb. 61: Dokumentation des Heilungsverlaufes – nach Transplantation von AlloDerm auf eine Radialislappenentnahmestelle, beginnend mit der primären Einheilung (oben links) bis hin zur fortgeschrittenen Heilung nach 5-8 Wochen (unten links) und der vollständigen Heilung (unten rechts). (Aus Artikel Nr. 22, *Sinha et al.*, [100] Genehmigung erteilt).

Um ebenso eine sekundäre Donorstelle zu umgehen und eine einzeitige Versorgung durchzuführen, haben *Park et al.* nach der subfaszialen Radialislappenentnahme (mittelgroße Transplantate mit 31 cm² Fläche im Durchschnitt) eine zweischichtige Kollagenmembran transplantiert [106]. Die erste Schicht ist das sogenannte MatriDerm (MedSkin Solution, Billerbeck, Deutschland) und die aufliegende Schicht das sogenannte Terudermis (Terumo Corporation, Tokyo, Japan), (s. Abb. 62). Diese wurden mittels Naht fixiert und mit einem Überknüpfverband und einem Splint für eine Woche zur Immobilisierung und Reduktion von Wundkontraktionen angebracht. Nach 1 Woche konnten dann der Verband und die Nähte entfernt werden, sodass eine Anfrischung der Ränder im Bereich des Terudermis durchgeführt und die Wunde wieder verbunden werden konnte. Es konnten sowohl funktionell als auch ästhetisch gute Ergebnisse, bei sehr geringer Komplikationsrate, erzielt werden (s. Abb.63). Die Narbengröße betrug 36,1 % der anfänglich gemessenen Wundfläche. Als Nachteile werden insbesondere die hohen Kosten und die verlängerte Heilungsdauer (bis zu 3 Monaten) genannt.



Abb. 62: Kompositransplantat. Präoperative Radialislappenplanung (links). MatriDerm-Applikation nach Radialislappenentnahme (mittig links) und anschließende Auflagerung von zweiter Schicht: Terudermis (mittig rechts). Versorgung der Wundfläche mit Überknüpfverband (rechts). (Aus Artikel Nr. 21, *Park et al.*, [106] Genehmigung erteilt).



Abb. 63: Kontrolle. Ergebnisse unterschiedlicher Patienten nach 3-4 Jahren. (Aus Artikel Nr. 21, *Park et al.*, [106] Genehmigung erteilt).

Das MatriDerm (MedSkin Solution Dr. Suwelack AG, Billerbeck, Germany) ist eine poröse Membran aus einem Kollagen (aus boviner Dermis) -Elastin (bovin, durch Hydrolyse gewonnen) -Geflecht. Es wurde von *Abbate et al.* eine Vergleichsstudie beschrieben, in der die Anwendung von Spalthauttransplantaten und dessen Unterstützung mittels MatriDerm als Unterlage in zwei Gruppen untersucht wurde [102]. Es wurde in beiden Gruppen eine S-förmige Inzision durchgeführt, sodass zwei halbkreisförmige Areale geformt wurden und ein Spalthauttransplantat vom Unterarm gewonnen werden konnte. In der STSG-Gruppe wurden die beiden Halbkreise für einen direkten Verschluss miteinander vernäht. In der mit MatriDerm unterstützten Gruppe, wurde nach dessen Insertion und Befeuchtung mit 0,9 % Kochsalzlösung, das am Unterarm gewonnene Hauttransplantat hiermit vernäht. In beiden Gruppen wurden kleine Einschnitte in die Spalthaut für einen besseren Flüssigkeitsabfluss hinzugefügt und anschließend für 10 Tage mit einem Kompressionsverband verbunden und immobilisiert. Hierbei stellten die Autoren quantitativ in der Gruppe, die mit MatriDerm und Spalthaut versorgt wurde, sowohl funktionell als auch ästhetisch bessere Resultate heraus.

Auch im Rahmen der Transgenderchirurgie werden vor allem großflächige Radialislappen genutzt. Die anschließende Defektdeckung mittels MatriDerm und einem Spalthauttransplantat im Vergleich zur Versorgung mittels Vollhauttransplantaten aus der Leiste wurde durch *Wafqa et al.* beschrieben [72]. Hierbei wurde im Gegensatz zu der Studie von *Park et al.* die Versorgung großflächiger Defekte untersucht [106]. Nach subfaszialer Lappenhebung wurde durch eine Annäherung der Muskelbäuche ein stabiles Wundbett geformt. In einer Gruppe wurde das STSG mittels MatriDerm einphasig ergänzt, wodurch eine zweite Wundaufbereitung entfiel. Das MatriDerm konnte aufgrund des Kollagen Typ I einen guten Schutz für die umgebenden Nerven bieten (s. Abb. 64) und konnte zudem statistisch signifikant bessere Ergebnisse hinsichtlich Ästhetik, Sensibilität und Funktion (auch auf lange Sicht) darlegen, was die Ergebnisse aus anderen Studien unterlegt (s. Abb. 65). Es muss angemerkt werden, dass die FTSG-Gruppe jedoch eine viel kleinere Patientenzahl beinhaltete und ebenfalls keine einwöchige V.A.C-Therapie post-operativ erhielt. Laut Autoren hatte Letzteres keinen Einfluss auf die Wundheilung, da generell keine Transplantatabstoßungen beobachtet werden konnten. Es konnte bei 94,6 % der Patienten eine Thermounempfindlichkeit beobachtet werden, welche laut Autoren keinen Patienten negativ beeinflusst habe.



Abb. 64: MatriDerm. Zustand nach Auflegen von MatriDerm nach Radialislappenentnahme (Aus Artikel Nr. 26, *Wafqa et al.*, [72] Genehmigung erteilt).



Abb. 65: Klinische Ergebnisse. Zustand 4 Jahre nach MatriDerm- und Spalthauttransplantation (oben rechts und oben links). Zustand 6 Jahre nach Vollhauttransplantation (unten rechts und unten links). (Aus Artikel Nr. 26, *Wafqa et al.*, [72] Genehmigung erteilt).

Lee M.C. et al. untersuchten in einer Vergleichsstudie die Anwendung zweier azellulärer dermaler Matrizen in Kombination mit Spalthaut im Vergleich zueinander, aber auch zu der alleinigen Anwendung von Spalthaut [105]. In allen drei Gruppen (im Durchschnitt mittelgroße Wundflächen) wurden vor der definitiven Wunddeckung die Sehnen mittels umliegender Muskulatur bedeckt und eine Wundflächenverkleinerung mittels *Pursestring*-Technik angestrebt. Anschließend wurden in den beiden Gruppen mit der Kompositentechnik (s. Abb. 66/67) entweder eine allogene azelluläre dermale Matrix - CDM (*cadaveric cellular matrix*) (MegaDerm; L&C BIO, Seongnam-Si, Gyeonggi-Do, Korea) oder eine bovine dermale Matrix-BDM (MatriDerm; MedSkin Solutions Dr. Suwelack AG, Billerbeck, Germany) mittels resorbierbaren Nähten an den Wundrändern befestigt. Direkt im Anschluss (somit einzeitiges Verfahren) wurde ein dünnes Spalthauttransplantat vom Oberschenkel transplantiert.

Die Wundversorgung erfolgte mit einem Überknüpfverband und wurde von einer zweiwöchigen Ruhigstellung gefolgt. Die quantitative Auswertung ergab bei der Anwendung von BDM eine sehr gute Farbanpassung an die Umgebung im Vergleich zu beiden anderen Gruppen, die eine dunklere und rötlichere Farbe besaßen. Ebenfalls konnten bei den Kompositrtransplantaten - insbesondere Gruppe BDM- eine hohe Hautelastizität konstatiert werden (nur STSG wenig Elastizität). Obwohl alle 3 Gruppen eine reduzierte Hautfeuchtigkeit aufzeigten, konnten bei den Patienten mit der allogenen Dermis eine gute Barrierefunktion (weniger transepidermaler Wasserverlust) festgestellt werden.



Abb. 66: BDM+STSG. Wundfläche nach Radialislappenentnahme (links) und anschließender Auflagerung von BDM (Mitte links). Zustand direkt (Mitte rechts) und 6 Monate (rechts) nach STSG-Transplantation. (Aus Artikel Nr. 29, Lee *et al.*, [105] Genehmigung erteilt).



Abb. 67: CDM+STSG. Zustand 20 Monate nach CDM- und STSG-Transplantation (links) und Zustand 30 Monate nach BDM- und STSG-Transplantation (rechts). (Aus Artikel Nr. 29, Lee *et al.*, [105] Genehmigung erteilt).

3.2.5 Deskriptiv zu Vakuum-assistiertem Wundverschluss

Ein weiteres Forschungsgebiet zur Verbesserung der Donorstellenmorbidity stellt die durch Unterdruck erzeugte Wundheilungsunterstützung, V.A.C.-Therapie, dar.

Halama et al. untersuchten den Heilungsverlauf nach einer subfaszialen Lappenhebung und anschließenden Vollhauttransplantation aus der Leiste [51]. In einer Gruppe erfolgte die postoperative Versorgung mittels einer V.A.C.-Apparatur (KCI Medical products Wiesbaden, Germany oder VivanoTec; Paul Hartmann AG, Heidenheim, Germany) für 7 Tage mit konstantem negativen Unterdruck von -125 mmHg und in einer Kontrollgruppe erfolgte die Versorgung mit einem Kompressionsverband nach intraoperativer Insertion einer Redon-Drainage für 12 Tage (s. Abb. 68). Anschließend erfolgte die Wundversorgung mittels Salben und leichten Verbänden, welche alle 2 Tage gewechselt wurden. Die Patienten in der V.A.C.-Gruppe zeigten eine schnellere Wundflächenreduktion, weniger Infektionen, weniger Schmerzen und eine bessere Handgelenksmobilität. Hierbei konnte jedoch im Gegensatz zur Wiederherstellung der Griffstärke (V.A.C.-Gruppe schneller), keine statistische Signifikanz gefunden werden. Laut Autoren konnte keine statistisch signifikante Überlegenheit des Unterdrucksystems, bei höherem Aufwand, regelmäßiger Kontrolle der regelrechten Funktion und den damit einhergehenden höheren Kosten, gezeigt werden.



Abb. 68: V.A.C. vs. Verband. Zustand nach Anbringen einer V.A.C.-Apparatur postoperativ (links) und nach Anbringen eines Kompressionsverbandes zur zusätzlichen Stabilisierung (rechts oben mit Mepitel Silikon-Mesh mit Betaisadona und rechts unten nach Verband). (Aus Artikel Nr. 30, Halama *et al.*, [51] Genehmigung erteilt).

Koch et al. untersuchten ebenfalls die Defektdeckung am Unterarm mittels FTSG aus dem Oberschenkel [48]. Hierbei wurde in einer Gruppe ein konventioneller Kompressionsverband (Verbandswechsel alle 4-5 Tage) und in einer anderen Gruppe eine Wundversorgung mittels negativem Unterdruck (V.A.C.; -125 mmHg für 7 Tage) durchgeführt. Im Anschluss daran wurde in beiden Gruppen jeweils ein Splint genutzt. Bei der Applikation des V.A.C.-Systems muss darauf geachtet werden, dass die Apparatur durchgehend und korrekt angebracht ist, was zu einer Immobilisierung des Patienten bei erhöhter

Compliance und Gefahr von Leckbildungen führt. Dies ist zeit-, kontroll- und kostenintensiv (5x höher). Es konnte in der V.A.C.-Gruppe kein Einfluss von vorhandenen Komorbiditäten und der Wundgröße auf die Wundheilung und eine tendenziell höhere Komplikationsrate konstatiert werden. Diese ist jedoch statistisch nicht signifikant. Demnach fassen die Autoren ähnlich wie auch *Halama et al.* [51] zusammen, dass aufgrund der oben genannten Nachteile und nicht vorhandenen statistisch signifikanten Überlegenheit der V.A.C.-Applikation dessen Anwendung limitiert sei.

Als Pendant hierzu soll eine Vergleichsstudie von *Chio et al.* dienen, in der die Entnahmestellen (mittelgroße bis großflächigere) nach Radialislappentransplantation mit STSG vom Oberschenkel gedeckt wurden [148]. Dieses wurde in einer Gruppe mit einem Schaumstoff-Kompressionsverband und einem Splint zur Immobilisation versehen (*Single Pressure Dressing*) und in einer zweiten Vergleichsgruppe mit einem speziellen Schaumstoff zur Anwendung einer V.A.C.-Apparatur (-125 mmHg), jedoch ohne Splint, versehen, was die Vergleichbarkeit leicht erschwert. In beiden Gruppen wurde die Wundbedeckung für 6 Tage belassen und anschließend für weitere 2 Wochen mit Gaze verbunden. Die V.A.C.-Therapie geht laut Autoren mit erhöhten Kosten einher (6 Tage V.A.C. \$1000 im Vergleich zu einem Druckverband circa 10 - 15\$). Die Unterschiede hinsichtlich Komplikationen oder auch Transplantatabstoßungen im Laufe der postoperativen Kontrolluntersuchungen sind zwar tendenziell besser in der V.A.C.-Gruppe, jedoch statistisch nicht signifikant, was die Mehrkosten und den Mehraufwand auch hier gemäß den Autoren in Frage stellt. Bei größeren Wundflächen oder auch bei Vorliegen von Komorbiditäten, konnte in dieser Studie im Gegensatz zu der zuvor erwähnten Studie von *Koch et al.* [48], eine höhere Rate an Wundkomplikationen festgestellt werden. Dies war jedoch ebenfalls statistisch nicht signifikant.

Vidrine et al. untersuchten ebenfalls die Effektivität der V.A.C.-Applikation nach erfolgter Spalthauttransplantation [149]. Hierzu wurde nach einer suprafasziellen Radialislappenhebung die Wundversorgung in einer Gruppe mit einem konventionellen Druckverband (Xeroform) und einem Splint für 3 Wochen und in einer zweiten Gruppe mit einer V.A.C.-Apparatur durchgeführt. Die Kontrollen erfolgten nach 1 und 4 Wochen. In beiden Gruppen wurden die Defektbedeckungen am 4. bzw. 6. Tag abgenommen. Die V.A.C.- Gruppe konnte eine geringere Komplikationsrate (10 % geringere Verlustrate) und schnellere Wundheilungsrate aufzeigen. Da trotz der tendenziell besseren Resultate in der V.A.C.-Gruppe, dieses Verfahren mit erhöhten Kosten einhergeht, wird dessen Anwendung für Patienten mit einer potenziell höheren Wahrscheinlichkeit für Wundheilungsstörungen oder bei Patienten bei denen eine schnelle Mobilisation ohne Splint notwendig ist, empfohlen.

Eine weitere Studie, die von *Andrews et al.* durchgeführt wurde, untersuchte die Versorgung mittels Spalthaut und dem Unterdrucksystem bei unterschiedlich langer Applikationszeit [53]. Nach der subfasziellen Lappenhebung und wenn notwendig nach einer Sehnenbedeckung durch benachbartes Weichgewebe, wurde ein STSG vom Oberschenkel transplantiert (s. Abb. 69). Anschließend wurde eine Abdeckung aus Polyurethan Schwamm, Filmverband und der V.A.C.-Apparatur von der Firma KCI (Kinetic Concepts Inc., San Antonio, TX), (-125 mmHg) appliziert. Der Verband wurde 3 x wöchentlich gewechselt bis eine vollständige Sehnenbedeckung vorhanden war. Unabhängig von der Dauer der V.A.C.-Anwendung, konnten direkt nach der Entnahme der V.A.C.-Apparatur die Spalthauttransplantate gute Resultate aufzeigen. Dennoch empfehlen die Autoren eine Applikationszeit von mehr als 6 Tagen, da bei einer kürzeren Anwendungszeit vermehrt nach 1 bis 3 Monaten partiell freigelegte Sehnenbereiche beobachtet werden konnten, die mit einem protrahierten Wundheilungsverlauf einhergingen.



Abb. 69: Vakuum-unterstützte Deckung des ventralen Unterarms mittels Spalthaut – direkt nach Entfernung der V.A.C.-Apparatur (links) und 8 Wochen postoperativ (rechts). (Aus Artikel Nr. 31, *Andrews et al.*, [53] Genehmigung erteilt).

Um den verlängerten Krankenhausaufenthalt, aber auch die verlängerte Immobilisierung und den Zeitaufwand zum Anlegen und Kontrollieren der V.A.C.-Apparaturen zu umgehen, wurde die Anwendung einer handlichen und portablen Einweg-Unterdruck-Apparatur von *Ray et al.* beschrieben (s. Abb. 70), [46]. Diese soll zur Durchblutungssteigerung, Perfusion und Wundbettgranulation für eine bessere Wundheilung eingesetzt werden. Sie kann ambulant angelegt und für bis zu 7 Tage auch von zu Hause, ohne stationären Aufenthalt, Anwendung finden. Nach der Radialislappenentnahme erfolgte die Defektdeckung mittels STSG (0.013 inches) vom Oberschenkel mit Inzisionen zum erleichterten Sekretabfluss. Eine Kontrollgruppe erhielt einen konventionellen Druckverband und eine zweite Gruppe das Mini-V.A.C. (PICO™, Smith & Nephew, Hull, United Kingdom), welches mit einem kontinuierlichen negativen Unterdruck von -80 mmHg arbeitet. Zudem dient zur Immobilisation in beiden Gruppen ein Splint für 5 Tage, welcher anschließend von täglichen Verbandswechseln und einem abnehmbaren Splint bis zur Lappenanhaftung ersetzt wird.

In der PICO-Gruppe konnte zu Beginn ein besseres ästhetisches Ergebnis, weniger Transplantatverluste und ein geringeres Auftreten von Sehnenfreilegungen und Infektionen aufgezeigt werden, jedoch all dies ohne statistische Relevanz. Mit \$218 pro Gerät ist das PICO laut Autoren ein kosteneffizientes Gerät bei ähnlicher Wundheilung im Vergleich zu größeren Unterdruck-Systemen oder auch dem konventionellen Druckverband und hinterlässt im Vergleich zu Letzterem keine tiefen Abzeichen.



Abb. 70: PICO. Zustand nach Anbringung eines PICO-Systems (links). Zustand 2 Monate postoperativ (rechts). (Aus Artikel Nr. 34, *Ray et al.*, [46] Genehmigung erteilt).

Ebenfalls das PICO-System (PICO™ Smith & Nephew, Hull, UK) mit einem negativen Unterdruck von -80 mmHg für 7 Tage genutzt haben *Clark et al.* (s. Anhang, Artikel Nr. 35) in einer Patientengruppe, jedoch ohne Splint [52]. Dem gegenüber wurde eine gleich große Gruppe (mit vergleichbarer Wundgröße) nach STSG-Transplantation vom Oberschenkel auf den ventralen Unterarm mit einem Druckverband und einem Splint (7 Tage) versorgt. Weitere Kontrollen erfolgten dann nach 1 und 3 Monaten. Im Rahmen der ersten Nachuntersuchung nach 7 Tagen konnten signifikante Vorteile hinsichtlich Funktion, Beweglichkeit und Ästhetik zugunsten der Unterdruck-Gruppe festgestellt werden, welche jedoch nach 1 bzw. 3 Monaten nicht mehr signifikant nachweisbar waren. Die Griffstärke und die Inzidenz von kleinen Komplikationen (keine schwerwiegenden Komplikationen vorhanden) zeigten keine Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Der Vorteil des portablen Unterdruck-Systems liegt neben einer potenziellen Wundheilungsverbesserung, insbesondere bei Patienten mit Komorbiditäten, in den geringeren Kosten und dem Entfall eines stationären Aufenthaltes, welcher sich sonst auf 1-2 Wochen beläuft. Hinsichtlich Komorbiditäten, Nikotinkonsum und auch der Wundgröße konnte jedoch kein signifikanter Einfluss auf die Wundheilung aufgezeigt werden.

3.2.6 Deskriptiv zu Nahlappenplastiken

Lokale Lappenplastiken können angewandt werden, wenn die Wundgröße limitiert ist und eine gewisse Hautelastizität gegeben ist, um eine zweite Donorstelle oder auch einen zweiten operativen Eingriff zu umgehen. Ein Verfahren mit diesem Ziel beschrieben *Riecke et al.* [29]. Im Anschluss an die Radialislappenentnahmeregion wurde zur Darstellung des Gefäßstiels eine wellenförmige Inzision durchgeführt. Zuvor ist es notwendig die Größe der zu deckenden Fläche und somit die Größe des benötigten Transplantates zu bestimmen. Hierbei werden zwei spindelförmige FTSG entnommen, mit jeweils der Hälfte der gesamten Wundflächengröße (s. Abb. 71). Diese ist gemäß den Autoren bei diesem Verfahren auf 8 cm x 8 cm limitiert. Da ein direkter Wundverschluss der Vollhautdonorstelle erzielt werden kann, entsteht keine weitere Donorstelle. Es folgt ein Überknüpfverband für 10 Tage,

wobei noch zusätzlich eine Silikon Drainage subfaszial inseriert wird. Obwohl es einer genaueren Planung der Transplantatgröße bedarf, konnte eine hohe Patientenzufriedenheit, eine geringe Komplikationsrate bei guten funktionellen Ergebnissen beschrieben werden: weniger Narbenbildung und Wund Schrumpfung, geringere Wundheilungsdauer, bei besserer Ästhetik und Umgehung eines weiteren Eingriffs mit einer weiteren zu versorgenden Wundfläche.



Abb. 71: Lokale FTSG. Zustand direkt nach Entnahme des Radialislappens und nach Exzision zweier spindelförmiger Vollhauttransplantate (links). Anschließender Verschluss der Radialislappenentnahmestelle mit zusammengefügt Vollhauttransplantaten (Mitte). Zustand 3 Monate postoperativ. (Aus Artikel Nr. 37, *Riecke et al.*, [29] Genehmigung erteilt).

Ein ähnliches Verfahren wurde von *Sánchez et al.* beschrieben [150]. Hierbei wurden nach sowohl sub- als auch suprafaszialer Lappenhebung und Überprüfung der Lage der Arteria radialis über eine S-förmige Inzision zwei halbkreisförmige Vollhauttransplantate mit jeweils halber Größe des RFFF-Entnahmedefekts gebildet (s. Abb. 72). Diese sollen laut Autoren nicht länger als 3,5 cm sein, um einen direkten Wundverschluss zu ermöglichen. Die beiden halbkreisförmigen Lappen können insbesondere bei rechteckigen Entnahmedefekten und je nach Wundfläche halbiert werden, sodass bis zu vier dreieckförmige Hauttransplantate entstehen können. Diese können dann vom ventralen Unterarm entnommen und direkt transplantiert werden. Anschließend wird die Akzeptorstelle mit einem Schwamm und einem Druckverband versorgt. Zudem wird ein Splint für 10 Tage angebracht. Diese Methode ist einzeitig durchführbar und umgeht sowohl einen zweiten operativen Eingriff als auch eine weitere Donorstelle. Die geometrische Neuordnung erfordert eine höhere Präzision und Planung des Transplantates bei erhöhtem Zeitaufwand, jedoch könnten ebenfalls größere Wundflächen (70 - 80cm²) aufgrund der geometrischen Anordnung der Vollhauttransplantate gedeckt werden. Zudem konnte eine gute Farb- und Formanpassung erreicht werden.



Abb. 72: Dreieckige lokale FTSG. Planung und Durchführung der Transplantation von 4 triangulären Vollhauttransplantaten (Links, Mitte) und Ergebnis nach Einheilung (Rechts). (Aus Artikel Nr. 38, *Sánchez et al.*, [150] Genehmigung erteilt).

Krane et al. [151] untersuchten ebenso wie auch *Riecke et al.* [29] und *Sánchez et al.* [150] die lokale Lappentransplantation von Vollhaut nach S-förmiger Inzision. Es wurden auch hier zwei halbkreisförmige FTSG geformt, mit Inzisionen versehen („pie-crusted“) und nach der Transplantation jeweils miteinander als auch mit der Akzeptorstelle vernäht. Die Autoren beschreiben zudem eine modifizierte Technik, um bei gleichbleibenden Resultaten den Eingriff zu erleichtern und zu verkürzen. Hierbei wird ein FTSG und nicht mehr zwei halbkreisförmige Transplantate, die erneut zusammengesetzt werden müssen, entnommen und transplantiert (s. Abb. 73). Zuvor erfolgte jedoch in jedem Fall eine Wundflächenverkleinerung mittels der sogenannten „Pursestring“ Methode [63]. Es wurde ein Wundverband angelegt und der Arm durch einen Splint für 5 Tage immobilisiert. In einer Vergleichsgruppe, wurde ein STSG mit einer Dicke von 0.0018 inch vom Oberschenkel entnommen, mit Inzisionen versehen und ebenfalls nach einer Wundflächenverkleinerung auf diese transplantiert und wie in Gruppe 1 versorgt. Anzumerken ist an dieser Stelle, dass die Defektgrößen sich in beiden Gruppen signifikant unterschieden (FTSG>STSG) und die Vollhautgruppe eine erhöhte Zahl an Patienten mit

Diabetes mellitus aufwies. Dennoch konnten die Autoren insbesondere einen Vorteil hinsichtlich der Ästhetik bei Umgehung einer zweiten Donorstelle in der Vollhautgruppe aufzeigen.

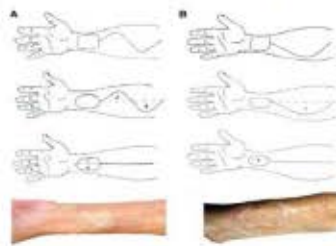


Abb. 73: Methode der S-förmigen Inzision – zur Entnahme zweier spindelförmiger Transplantate (links). Diese werden anschließend miteinander verknüpft und transplantiert. Klinisches Beispiel nach Wundheilung (links unten). Modifizierte Technik (rechts), welche eine Zweiteilung des Vollhauttransplantates durch die Inzisionsform umgeht. Links unten wird ein klinisches Beispiel nach Wundheilung gezeigt. (Aus Artikel Nr. 45, *Krane et al.*, [151] Genehmigung erteilt).

Riecke et al. haben die von ihnen beschriebene Methode der Deckung mittels zwei spindelförmigen Vollhauttransplantaten (s. Abb. 74) weiter hinsichtlich der Funktion untersucht [152]. Diese Art der lokalen Defektdeckung sorgt laut den Autoren für einen stabilen Schutz mit guten funktionellen Ergebnissen und vermeidet eine zweite Donorstelle. Auch hier erfolgte eine Drainage. Ein Überknüpfverband für 10 Tage führte wie in den oben bereits beschriebenen Verfahren der Nahlappenplastik nach etwa 2 Wochen zu einer Einheilung. Zudem konnte festgestellt werden, dass Wundgröße und adjuvante Radiochemotherapie keinen zusätzlich negativen Einfluss auf die Handstärke haben, wobei dessen Reduktion bei einigen Patienten beobachtet werden konnte. Es konnten zudem einige Hypästhesien, Dysästhesien, sensorische Störungen und eine Reduktion des Handumfanges im Vergleich zu dem nicht-operierten Arm beschrieben werden.



Abb. 74: Präparation zweier spindelförmiger Vollhauttransplantate zur Deckung der Radialislappentnahmestelle (Links oben). Vernähen beider Transplantate miteinander und primärer Verschluss der Entnahmestelle (Links Mitte). Es erfolgt eine Versorgung mittels Überknüpfverband (Links unten). Zustand direkt nach Entfernung des Überknüpfverbandes (Rechts oben) und 3 Monate postoperativ (Rechts unten). (Aus Artikel Nr. 43, *Riecke et al.*, [152] Genehmigung erteilt).

Eine weitere Methode der Nahlappenplastik wird durch *Chambers et al.* beschrieben [55]. Es wird direkt angrenzend an das Radialislappentransplantat (subfasziale Entnahme) ein trianguläres Vollhauttransplantat entnommen und weiter distal auf die RFFF-Entnahmestelle transplantiert (s. Abb. 75). Der proximale Anteil wird anschließend primär verschlossen. Die Akzeptorstelle wird mit einem lokalen dreieckförmigen FTSG (*meshed/non-meshed*) gedeckt. Es folgt die Insertion einer Drainage und anschließend die Versorgung mit einem konventionellen Verband und Schiene in maximaler Extensionshaltung für 10 Tage. Im Laufe der ersten 48 h wird eine Schlinge genutzt, um den Arm für eine ausreichende Durchblutung zu heben. Die maximale Defektgröße ist auf 8 x 6 cm² limitiert, wobei eine erhöhte Hautelastizität von Vorteil war. Bei der Präparation des Vollhauttransplantates bedarf es einer hohen Präzision und Schonung der Nerven, da sonst das Risiko von Sensibilitätsstörungen steigt. Es konnten gute ästhetische und funktionelle Ergebnisse ohne Sehnenfreilegungen bei im Vergleich zu einer Spalthauttransplantation kurzen Operationsdauer mit ebenso kurzer Anästhesie beobachtet werden.

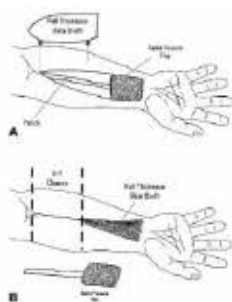


Abb. 75: Trianguläre ipsilaterale FTSG nach Radialislappentnahme. Schematische Zeichnung (Links) und klinische Fotografie nach Einheilung (Rechts). (Aus Artikel Nr. 41, *Chambers et al.*, [55] Genehmigung erteilt).

Ebenso haben *Shiba et al.* dieses Verfahren beschrieben (s. Abb. 76), [153]. Die Anwendung dieser Methode ist jedoch laut Autoren limitiert. Die Breite des Radialislappens darf nicht die Hälfte des Handgelenkumfanges überschreiten und das dreieckförmige Vollhauttransplantat sollte doppelt so lang wie das Radialislappentransplantat sein. Es konnten gute ästhetische und funktionelle Ergebnisse erzielt werden, jedoch nur bei kleineren beziehungsweise limitierten Wundgrößen.

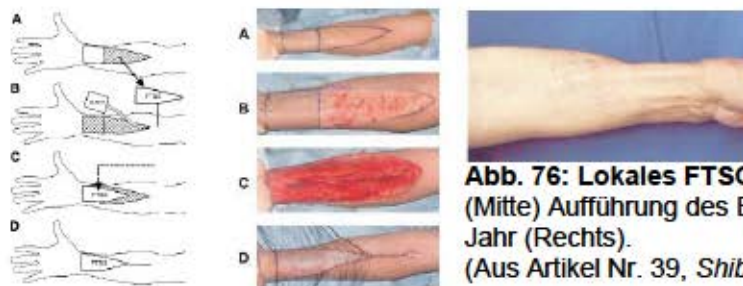


Abb. 76: Lokales FTSG. Schematische (Links) und Klinische (Mitte) Aufführung des Eingriffs. Postoperative Kontrolle nach 1 Jahr (Rechts). (Aus Artikel Nr. 39, *Shiba et al.*, [153] Genehmigung erteilt).

Wie auch *Elliot et al.*, *Chambers et al.* und *Shiba et al.* beschrieben haben, wurde von *Zuidam et al.* in einer Vergleichsstudie das dreieckförmige ipsilaterale FTSG (nach suprafaszialer Lappenhebung) mit dem Standardverfahren der Spalthauttransplantation (vom Oberschenkel) verglichen [154]. Das Vollhauttransplantat wurde proximal vom Unterarm entnommen, vom Fettgewebe zunächst befreit und anschließend auf die RFFF Entnahmestelle im Sinne einer V-Y-Plastik transplantiert beziehungsweise der proximal entstehende Defekt primär verschlossen (s. Abb. 77). Anschließend erfolgte eine Ruhigstellung der Hand für 14 Tage nach FTSG und 7 Tage nach STSG Transplantation. Beide Methoden zeigten zufriedenstellende ästhetische als auch funktionelle Ergebnisse (s. Abb. 78), wobei bei der FTSG-Gruppe eine zweite Donorstelle erspart bleibt, welche in der STSG-Gruppe länger anhaltende Beschwerden in diesem Bereich mit sich brachte. Dennoch ist die Anwendung des FTSG aufgrund der Wundflächengröße limitiert und weist über längere Zeit eine tendenziell höhere Komplikationsrate (statistisch jedoch nicht signifikant) und eine eingeschränkte Extension des Handgelenkes auf.

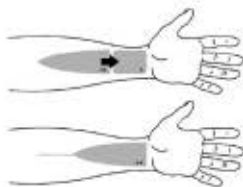


Abb. 77: Schematische Abbildung der lokalen V-Y-Technik mittels triangulärem Vollhauttransplantat. (Aus Artikel Nr. 46, *Zuidam et al.*, [154] Genehmigung erteilt).



Abb. 78: Postoperatives Ergebnis – eines Patienten nach einer Spalthauttransplantation vom Oberschenkel (Links). Postoperatives Ergebnis eines Patienten nach einer lokalen Vollhauttransplantation (Rechts). (Aus Artikel Nr. 46, *Zuidam et al.*, [154] Genehmigung erteilt).

Pirlich et al. [57] hingegen verglichen Patienten mit indirektem Verschluss mittels FTSG aus der Leiste und Patienten mit direktem Wundverschluss (s. Abb. 80), welche hinsichtlich ästhetischer und funktioneller Parameter untersucht worden sind. Der primäre Wundverschluss wird als eine schnelle und einfache Methode der Defektdeckung, ohne eine zweite Donorstelle zu produzieren, beschrieben. Dennoch konnten tendenziell schlechtere Ergebnisse, jedoch statistisch nicht signifikant, bezogen auf Wundheilung, Ästhetik, Funktionalität in der Gruppe der direkten Wundversorgung konstatiert werden. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass größere Wundflächen mit dieser Methode versorgt worden sind, was bei der direkten Versorgung zu höherer Hautspannung führen kann und daher limitiert ist. Postoperativ verblieb bei der primären Versorgung mittels „V-Y-Technik“ (s. Abb. 79) jedoch eine reduzierte Narbenlänge.

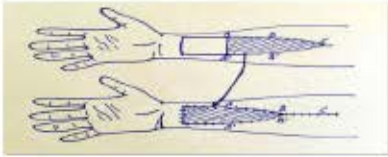


Abb. 79: Schematische Zeichnung des direkten Verfahrens zur Versorgung der Wundfläche nach Radialislappenentnahme (Aus Artikel Nr.42, *Pirlich et al.*, [57] Genehmigung erteilt).



Abb. 80: Postoperative Ergebnisse. Zustand nach indirektem Verschluss am ventralen Unterarm mittels FTSG aus der Leiste (links) und nach direktem Verschluss (rechts). (Aus Artikel Nr. 42, *Pirlich et al.*, [57] Genehmigung erteilt).

Diese Technik wurde später von *Giordano et al.* mit einer modifizierten Methode verglichen [155]. In der modifizierten Gruppe wurde das FTSG an die Form der Radialislappenentnahmestelle angepasst, sodass im Gegensatz zu der rein triangulären V-Y-Methode circa 8,3 % des Transplantates zur Deckung der RFFF Donorstelle gespart werden konnten (s. Abb. 81). Nach der Entnahme wurde dieses „*dagger-shaped*“ FTSG entfettet und mit einigen Inzisionen versehen, um eine Vergrößerung des Transplantates zur Entspannung und einen erleichterten Sekretabfluss zu ermöglichen. Der proximale Anteil kann direkt verschlossen werden (Verband für 6 Tage). Mit dieser, laut den Autoren, simplen, intraoperativ zeitlich indifferenten und kosteneffizienten Technik können Defekte von bis zu 50 cm² versorgt werden, wodurch eine zweite Entnahmestelle ausbleibt. Es konnten im Vergleich zu der von *Chambers et al.* [55] oder auch *Shiba et al.* [153] beschriebenen Methode weniger Hautspannung, Komplikationen, Sehnenfreilegungen bei verbesserter Ästhetik und Funktionalität erzielt werden.

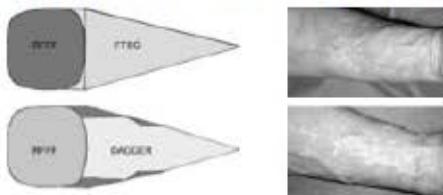


Abb. 81: Lokale Lappentechnik-modifiziert. Standardverfahren mit dreieckförmigem Vollhauttransplantat (Oben links, schematisch) und Zustand nach Einheilung (Oben rechts, klinisch). „*Dagger-Shaped* FTSG“ (Unten links, schematisch) und Zustand nach Einheilung (Unten rechts, klinisch). (Aus Artikel Nr. 40, *Giordano et al.*, [155] Genehmigung erteilt).

Yao et al. verglichen eine weitere lokale Transplantationsmethode mit der Vollhauttransplantation aus der Bauchregion [156]. Etwa 2 - 3 cm angrenzend an das RFFF wurde ein im Vergleich hierzu etwas kleineres FTSG entnommen, entfettet und konnte anschließend auf kleine bis mittelgroße Radialislappendefekte transplantiert werden (s. Abb. 82). Ein Druckverband wurde für 2 - 3 Tage angelegt und die Nähte wurden nach 10 - 14 Tagen entfernt. Die lokale Transplantationsmethode ermöglicht gute funktionelle (keine Bewegungseinschränkungen) und gute ästhetische Ergebnisse (besser als bei der abdominalen Hauttransplantation) ohne weitere Komplikationen und Sehnenfreilegungen bei Umgehung einer weiteren Donorstellenentwicklung.



Abb. 82: Angrenzendes FTSG. Vorbereitung der Entnahmestelle des RFFF und des FTSG (links). Anschließende Präparation (Mitte) und Deckung (rechts). (Aus Artikel Nr. 49, *Yao et al.*, [156] Genehmigung erteilt).



Abb. 83: Funktionelle Überprüfung – Zustand 6 Monate post-OP in Flexionsstellung (links), Extensionsstellung (Mitte) und Deviation (rechts). (Aus Artikel Nr. 49, *Yao et al.*, [156] Genehmigung erteilt).

Eine weitere Methode, die sich aus dem Pool der in der Literatur beschriebenen Möglichkeiten zur Verbesserung der Deckung nach Radialislappenentnahme bedient, wird von *Karimi et al.* beschrieben [43]. Diese Methode dient dem Verschluss kleiner bis mittelgroßer Defekte (50 - 60 cm²) nach RFFF-Entnahme. Es wird für eine bessere Transplantateinheilung zum einen ein ebenes Wundbett durch Vernähen der Muskelbäuche [42] und somit eine Sehnenbedeckung angestrebt und anschließend die Wundfläche mittels Naht bis zu 50 % verkleinert [63]. Durch Wundrandannäherung konnte ein hierbei entstehendes

FTSG-Dreieck entnommen, entfettet und als „*meshed graft*“ transplantiert werden (s. Abb. 84). Die verbleibende Wunde wurde direkt verschlossen. Der Unterarm wurde verbunden, immobilisiert und nach einer Woche mit einem leichten Verband für eine bessere Beweglichkeit versorgt. Es konnten gute ästhetische und funktionelle Ergebnisse, bei nicht prolongierter Operationsdauer, erzielt werden, wobei einige Patienten Hypästhesien im Bereich des Daumens aufwiesen, was laut Autoren auch auf die Un-erfahrenheit einiger Operateure zurückgeführt werden kann. Die Wundheilungsdauer unterscheidet sich nicht von der bei der traditionellen STSG- und FTSG-Transplantation, wobei hier eine zweite Operation und eine zweite Donorstelle und Schmerzen umgangen werden können.



Abb. 84: Zustand nach Lappenhebung mit darunter frei liegendem FDS=flexor digitorum superficialis Muskel, FCR=flexor carpi radialis Sehne, FPL=flexor pollicis longus Muskel, BR= brachioradialis Sehne und R= Radialer Nerv (links). Auf der nächsten Abbildung ist die Bedeckung des FCR mit den Muskelbäuchen von FDS und FPL dargestellt. Nach einer Wundflächenverkleinerung mittels „*Pursestring*“-Methode und einer Wundrandadaptation kann ein dreieckförmiges FTSG gewonnen werden (Mitte). Das FTSG wird entfettet und als „*meshed graft*“ auf das Wundbett transplantiert und 5 Monate postoperativ dargestellt (rechts). (Aus Artikel Nr. 47, *Karimi et al.*, [43] Genehmigung erteilt).

Eine weitere Verschiebetechnik eines Vollhauttransplantates ist der „*Keystone flap*“ (KF). Dieser dient ebenfalls dem Verschluss kleiner bis mittelgroßer ellipsenförmiger Entnahmestellen des Radialislappens, wobei die Hautelastizität, die Entnahmestellenform und die Lappenbreite einen limitierenden Faktor darstellen. Die Transplantatbreite entspricht der der RFFF Donorstelle (s. Abb. 85). Der KF (erstmalig von *Behan 2003* beschrieben, [157]) wird im 90° Winkel von der RFFF Donorstelle gebildet, von der ulnaren Seite gehoben und auf die RFFF-Stelle transplantiert, wobei der entstehende Defekt primär geschlossen wird. Hierbei kann eine erhöhte Spannung auftreten, welche in den ersten Tagen schmerzhaft sein kann. Es konnten im Vergleich zur Deckung mit Spalthauttransplantaten (wobei die Gruppengrößen ungleich verteilt waren) eine tendenziell reduzierte Wundheilungsdauer (STSG 28 Tage im Durchschnitt vs. KF 14 Tage), weniger Sehnenfreilegungen und Sensibilitätsstörungen bei Vermeidung einer zweiten Donorstelle mit einhergehendem brennenden Schmerz bei akzeptablen Ergebnissen beobachtet werden. Der KF wird jedoch aufgrund der Ästhetik bei dunklerer Hautfarbe weniger empfohlen und weist ein höheres Risiko für das Kompartiment-Syndrom auf.



Abb. 85: „*Keystone flap*“ – Zustand nach Lappenhebung und Vermessung der notwendigen Breite mit anschließender Hebung und Verschiebung nach median zur Defektdeckung. (Aus Artikel Nr. 48, *Potet et al.*, [158] Genehmigung erteilt).



Abb. 86: Fallbeispiele mit Zustand nach „*Keystone flap*“ (links) und nach Spalthauttransplantation (rechts). (Aus Artikel Nr. 48, *Potet et al.*, [158] Genehmigung erteilt).

Um eine etwas großflächigere Radialislappenentnahmestelle einzeitig und mit lokaler Vollhaut decken zu können beschreiben *Hsieh et al.* einen zweibäuchigen Lappen (einer groß, einer klein), welcher lokal gehoben und durch Rotation der Defektdeckung nach Radialislappenentnahme dient [159]. Hierbei wird der große Lappen auf die RFFF Donorstelle und der kleine Lappen auf den Bereich des entnommenen großen Lappens transplantiert (s. Abb. 87). Der proximale Anteil wird dann primär verschlossen und mit einem Splint für 1 Woche versehen. Bei diesem Verfahren handelt es sich laut den Autoren um ein einzeitiges Verfahren ohne sekundäre Wunde bei reduzierter Donorstellenmorbidity, ohne Komplikationen, schnellerer Handfunktionalität und besserem ästhetischen Resultat als bei den Standardverfahren. Dennoch ist die Anwendung dieser Methode auf kleine bis mittelgroße Defekte (jedoch größer als bei erstmaliger Beschreibung durch *Elliot et al.* mit 8 x 4 cm², nun bis zu 8 x 8 cm²)

limitiert, anspruchsvoller bei der Gestaltung und hinterlässt eine längliche Narbe [124]. Im Vergleich zu anderen V-Y-Plastiken, kann hier der RFFF in der Längsachse der A. radialis entnommen werden (und nicht Längsachse RFFF ist transversal zu Handgelenk).

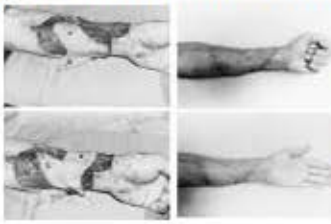


Abb. 87: „Bilobed flap“ vor (oben links) und nach (unten links) Rotation mit großem (a) und kleinerem (b) Lappenanteil. Die rechten klinischen Bilder zeigen postoperativ die Handmobilität und das ästhetische Resultat. (Aus Artikel Nr. 44, *Hsieh et al.*, [159] Genehmigung erteilt).

Eine Methode der lokalen Deckung, jedoch für etwas größere Defekte mittels gestielter Spalthaut untersuchten *Boahene et al.* [160]. Im Bereich der RFFF-Entnahmestelle, wurde mittels Dermatom ein Spalthauttransplantat (0.016 - 0.018 inch), welches leicht größer als das Radialislappentransplantat ist, entnommen. Nach erfolgter gestielter Spalthautpräparation und dessen Befeuchtung, konnte der teilweise deepithelialisierte Radialislappen entnommen werden (s. Abb. 89). Anschließend erfolgte die Auflagerung der gestielten Spalthaut und eine Immobilisierung für 5 - 7 Tage mit einem konstanten Unterdrucksystem (V.A.C.). Der Radialislappen konnte im Mund bei guter Farbanpassung reepithelialisiert werden, wobei in diesem sensiblen Bereich das Risiko von Stenosen und insuffizienter Schluckfunktion beachtet werden müssen (s. Abb. 88). Es konnten eine schnelle Wundheilung (> 90 % nach 7 Tagen) und gute ästhetische Ergebnisse bei wenigen Narbenzügen und Komplikationen festgestellt werden. Obwohl das STSG an der Entnahmestelle nicht vollständig gelöst wird und somit zwischenzeitlich eine Perfusion erfährt, muss dennoch berücksichtigt werden, dass sie selbst aufgrund der Schichtstärke nicht ausreichend vaskularisiert ist und somit auf ein geeignetes Wundbett und eine ausreichende Ruhigstellung angewiesen ist. Zudem besteht die Schwierigkeit das Dermatom auf die Form des Unterarms gleichmäßig anzupassen.



Abb. 88: Postoperativer Zustand – nach Einheilung der Spalthaut am Unterarm (links) und des deepithelialisierten Radialislappens in der Mundhöhle bei guter Farb- und Formanpassung. (Aus Artikel Nr. 50, *Boahene et al.*, [160] Genehmigung erteilt).



Abb. 89: Abpräparation des gestielten Spalthauttransplantates nach Festlegung der Größe des Radialislappens. (Aus Artikel Nr. 50, *Boahene et al.*, [160] Genehmigung erteilt).

3.2.7 Deskriptiv zu freien und entfernten Eigenhauttransplantaten (FTSG, STSG)

In Anlehnung an die von *Avery et al.* beschriebene Methode [40, 70], untersuchten ebenfalls *Kaltman et al.* [161] die Vollhauttransplantation aus dem inneren Oberarm zur Deckung von ellipsoiden Radialislappenentnahmestellen (s. Abb. 90). Zuvor erfolgte eine Verkleinerung der Wundfläche durch Naht und eine Sehnenbedeckung mittels umliegendem Gewebe. Bei einem Bedarf von großflächigerem Radialislappen wurde dieser in der Länge und nicht in der Breite expandiert, um am Oberarm einen primären Verschluss zu ermöglichen. Die Planung der Transplantatgröße am inneren Oberarm bedarf einer Berücksichtigung der Schrumpfungsneigung von Vollhauttransplantaten. Eine Ruhigstellung des Armes erfolgte für 1 Woche.



Abb. 90: FTSG aus Oberarm. Zustand intraoperativ nach Radialislappenhebung und anschließender Ausmessung der Defektgröße (oben links). Ausmessung der benötigten Vollhauttransplantatgröße am inneren Oberarm (oben rechts). 8 Monate postoperativ regio Unterarm (unten links) und regio Oberarm (unten rechts). (Aus Artikel Nr. 51, *Kaltman et al.*, [161] Genehmigung erteilt).

Bei *Avery et al.* (s. Anhang, Artikel Nr. 52) wurde das Vollhauttransplantat in einer 70° Armbeugehaltung entnommen und postoperativ ein V.A.C.-Gerät angebracht. Falls die Defektgröße hierbei so groß war, dass ein primärer Verschluss am Oberarm nicht gewährleistet werden konnte, wurde ein Spalthauttransplantat aus dem Oberschenkel entnommen (Durchschnittliche Wundfläche 76 cm²), [70]. Durchschnittliche zu deckende Wundgrößen waren hierbei 45 cm² bei *Avery et al.* und 24 cm² bei *Kaltmann et al.*. Vorteile der Vollhautentnahme aus dem Oberarm sind einerseits die guten ästhetischen und funktionellen Ergebnisse bei geringer Komplikationsrate (einige Fälle von Wunddehiszenzen am Innenarm in beiden Studien). Zum anderen kann durch die Donorstelle am Oberarm die Gefährdung wichtiger anatomischer Strukturen umgangen werden, durch die erhöhte Hautelastizität in diesem Bereich ein primärer Verschluss in ästhetisch unauffälliger Region vereinfacht, eine hohe Farbähnlichkeit (dennoch leichte Pigmentierungen) erreicht, eine im Vergleich zum Abdomen weichere Hautqualität und eine verkürzte Operationsdauer durch die gleichzeitige Präparation erzielt werden.

Einige Studien untersuchten die Vollhautentnahme aus der Leistenregion zur Defektdeckung nach Radialislappenentnahme (s. Abb. 91). *Kim et al.* konnten hierbei eine hohe Patientenzufriedenheit hinsichtlich Ästhetik, Funktion und Auftreten von Schmerzen bzw. Komplikationen bei einer Wundheilungsdauer von 3-4 Wochen, wobei hier großflächige Wunden bis zu 128 cm² gedeckt wurden, konstatieren. Im Vergleich zu der Donorstelle aus dem Oberarm können hier größere Transplantate entnommen werden (Risiko für Transplantatabstoßungen jedoch hierbei erhöht) und die Narbe im Rahmen der anatomischen Gegebenheiten im Bereich der Leiste kaschiert werden [162]. Nach der Defektdeckung wird für etwa 3-5 Tage eine Drainage und ein Splint adaptiert und die Donorstelle primär verschlossen. Auch *Ito et al.* haben Patienten mit einem FTSG aus der Leistenregion versorgt und eine erhöhte Rate an Hypästhesien (kleine Bereiche), Pigmentationen und Depressionen im Bereich des Unterarms feststellen können. Die Patientenzufriedenheit war hier dennoch ebenfalls hoch. Zudem konnte konstatiert werden, dass sich die primäre Besorgnis der Patienten auf die zu versorgende Stelle im Mund- und Kieferbereich bezog, wobei diese sich nach einem Jahr vermehrt auf die Entnahmestelle nach Radialislappenentnahme verlagerte [28]. Im Rahmen dieser Studie wurde zudem auf eine lange Ruhigstellung des Unterarms geachtet (1 Woche Splint, 1 Monat Verband, 6 Monate *Tapes*).



Abb. 91: FTSG aus Leistenregion 3,5 Monate postoperativ (Links) und Unterarm 1 Jahr postoperativ (rechts).
(Aus Artikel Nr. 53, *Kim et al.*, [162] Genehmigung erteilt).

Im Rahmen einer Vergleichsstudie, obgleich ungleich verteilte Gruppen, untersuchten *Davis et al.* (s. Anhang, Artikel Nr. 55) die Defektdeckung nach subfaszialer Radialislappenhebung mittels STSG aus dem Oberschenkel und FTSG (regio Leiste, Bauch). Hierbei konnten hinsichtlich Wundheilungsdauer im Bereich der Donorstelle, dem Auftreten von Sehnenfreilegungen (kleine Flächen und minimale Morbiditätsrate), Auftreten von Schmerzen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Die Wundheilung am Unterarm nach FTSG-Transplantation war tendenziell verlängert (statistisch nicht signifikant) und benötigte eine höhere Anzahl an Verbandswechsels als die STSG-Gruppe. Das ästhetische Resultat am Unterarm als auch die Patientenzufriedenheit war in der FTSG-Gruppe überlegener. Das ästhetische Resultat an der Entnahmestelle in der STSG-Gruppe wurde laut Patienten tendenziell besser bewertet, wobei die Autoren hierbei die unauffälligere Entnahmestelle bei der FTSG-Transplantation hervorheben [80].

Lutz et al. (s. Anhang, Artikel Nr. 56/66) untersuchten prospektiv die Deckung mittels STSG aus dem Oberschenkel und FTSG aus der Leiste, unter besonderer Berücksichtigung der suprafaszialen Lappenhebung, welche 1995 von *Webster et al.* beschrieben wurde [37, 163, 164]. Hierbei waren die

beiden Gruppen jedoch nicht gleichmäßig vertreten (STSG>FTSG). Im Rahmen dieser Untersuchung, konnten gute Ergebnisse, hinsichtlich der Funktion keine signifikanten Unterschiede, eine schnelle Einheilung (2 Wochen), eine geringe Komplikationsrate, eine gute Funktionalität bei großflächigeren Wunden (Durchschnitt 74,4 cm² bzw. 78,3 cm²), aber auch einige Hypästhesien distal der Entnahmestelle beschrieben werden [37, 164]. Das Ausmaß der Handgelenksbewegung und die Kraft der Hand verschlechterten sich nach einem partiellen Transplantatverlust signifikant (FTSG tendenziell mehr partieller Transplantatverlust). Für die Transplantation von FTSG wird ein Überknüpfverband und eine Immobilisation mit einem Splint für 2 Wochen empfohlen [164]. Bei guter Ruhigstellung des Armes mittels Überknüpfverband und Splint, konnten hinsichtlich der Ästhetik, Patientenzufriedenheit, Komplikationen an der zweiten Donorstelle (Juckreiz und hypertrophe Narben bei STSG) in der FTSG-Gruppe tendenziell bessere Ergebnisse erzielt werden. Die Autoren beschreiben jedoch im Allgemeinen die hohe Heilungsrate (FTSG 84 %, STSG 94 %) bei der suprafaszialen Lappenhebung als Vorteil dieser Methode [37]. Hierbei wird das nach suprafaszialer Lappenhebung entstandene Wundbett als geeignet für eine gute Einheilung und verbesserte Ästhetik, insbesondere in Kombination mit einem FTSG, bezeichnet.

Ebenfalls zogen *Chang et al.* (Artikel Nr. 67) im Rahmen einer prospektiven Studie das Resultat, dass nach einer suprafaszialen Radialislappenhebung bessere Wundheilungsraten und weniger Komplikationen erreicht werden konnten [38].

Schwarzer et al. verglichen die sub- bzw. suprafasziale Radialislappenentnahme (s. Abb. 92) mit anschließender FTSG-Transplantation aus der Leiste [19]. Hierbei stellten sie fest, dass keine signifikanten Unterschiede aufzuweisen sind, so dass beide Verfahren je nach Behandlerpräferenz gute Ergebnisse liefern. Es konnte jedoch eine tendenziell höhere Schrumpfung des Transplantates (15 %), größere Schmerzen und eine höhere Komplikationsrate hinsichtlich Nekrosen und Sehnenfreilegungen in der subfaszialen Gruppe festgestellt werden. Das ästhetische Ergebnis konnte mit über 90% in beiden Gruppen eine hohe Zufriedenheit erreichen.

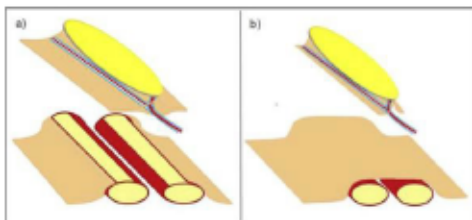


Abb. 92: Sub- und Suprafasziale Lappenhebung.

Zeichnung der subfaszialen Radialislappenentnahme mit Inklusion der Fascia antebrachii (a) und der suprafaszialen Radialislappenentnahme ohne den Einschluss der Fascia antebrachii (b). (Aus Artikel Nr. 65, *Schwarzer et al.*, [19] Genehmigung erteilt).

Eine retrospektive Studie von *Selvaggi et al.* befasste sich mit der Radialislappenentnahme zur Phallusrekonstruktion bei transsexuellen Patienten [41]. Interessant hierbei ist die Überprüfung der Donorstellenmorbidity, da für genannte Rekonstruktion großflächige Radialislappen (bis zu 228 cm²) benötigt werden. Hierzu wurden sowohl FTSG aus der Leiste als auch Spalthauttransplantate, jeweils nach supra- oder subfaszialer Lappenhebung je nach Konstitution des Patienten, entnommen (s. Abb. 93). Dabei konnten keine erhöhte Donorstellenmorbidity und kaum funktionelle Einschränkungen beobachtet werden. Der Sensibilitätsverlust und der partielle Transplantatverlust war bei den Patienten mit einem Vollhauttransplantat etwas höher als bei denen mit einem Spalthauttransplantat. Das Vollhauttransplantat wurde aus der Leistenregion entnommen und stellt im besonderen Fall von transsexuellen Umwandlungen eine Schwierigkeit dar, da im Speziellen die Haut in diesem Bereich unter Umständen noch für weitere Operationen benötigt werden könnte und im Allgemeinen ein tendenziell höheres Risiko für Dehiszenzen gegeben ist und die Operationsdauer verlängert wird. Das ästhetische Ergebnis konnte sowohl bei der STSG als auch bei der FTSG Transplantation ohne signifikanten Vorteil einer Methode als moderat (subjektiv und objektiv) eingeschätzt werden, da hypertrophe Flächen auftraten. Dennoch war die Patientenzufriedenheit bei den Patienten mit einem Vollhauttransplantat etwas höher. Als Notwendigkeit zum Versuch der Verbesserung der Ästhetik bei

diesen großflächigen Wundbereichen, wurde eine vorherige Wundbettvorbereitung mit Sehnenbedeckung mittels Muskelbäuchen und eine Wundflächenreduktion mittels Nahttechnik durchgeführt. Die subfasziale, suprafasziale oder auch kombinierte Lappenhebungstechnik wiesen hierbei keine Unterschiede auf.



Abb. 93: Patientenbeispiel mit moderatem Ergebnis links (Score 5/10) und mit sehr gutem Ergebnis rechts (Score 10/10). (Aus Artikel Nr. 70, *Selvaggi et al.*, [41] Genehmigung erteilt).

Ein umfangreiche Untersuchung von *Avery* beschäftigte sich präziser mit den 3 frühzeitigen Komplikationen: Transplantatverlust, Sehnenfreilegung und verzögerte Wundheilungsdauer [40]. Er nutzte die suprafasziale Lappenhebung mit anschließender Nachsorge mittels V.A.C.-Apparatur. Es wurden in 78 % der Fälle ein FTSG vom Innenarm und in 22% der Fälle ein „meshed“ STSG vom Oberschenkel transplantiert. Letzteres war jedoch für größere Flächen (Durchschnitt 72 cm² im Vergleich zu 35 cm² in der FTSG-Gruppe) indiziert. Die Heilungsdauer verlängerte sich hierbei für die STSG-Gruppe dementsprechend statistisch signifikant. Es konnten zudem in dieser Gruppe mehr Kontraktionen festgestellt werden, was bei älteren, weiblichen Patienten und bei größeren Wundflächen ebenso vermehrt auftrat. Die oben genannten Komplikationen fielen mit einer Inzidenz von 4 %, 3 % und 4 % geringer aus als bei anderen Studien, welche sich der subfaszialen Lappenhebung bedienten (s. Abb. 94). Zwar ist die suprafasziale Lappenhebung anspruchsvoller, jedoch konnte eine hohe Heilungsquote von 97 % erreicht werden. In einer Vergleichsstudie von *Shonka et al.* [36] konnte jedoch trotz des laut *Avery* erhöhten Anspruches bei der suprafaszialen im Vergleich zur subfaszialen Lappenhebung [40], keine verlängerte Operationszeit (hingegen etwas verkürzt) festgestellt werden. Somit schlussfolgerte *Avery*, dass wenn möglich eine suprafasziale Lappenhebung mit einer Vollhauttransplantation (vorzugsweise aus dem inneren Oberarm) und anschließender Versorgung mittels negativem Unterdruck (V.A.C.) gewählt werden sollte. Die Anwendung der V.A.C.-Apparatur, soll die Bildung von Hämatomen und somit das erhöhte Risiko von Transplantatverlusten wie bei *Lutz et al.* vermeiden [37].

table 4
Morbidity at the radial donor site

	Subfascial donor site		Suprafascial donor site	
	Bardsley (1990)	Richardson (1997)	Lutz (1999)	Avery (2007)
Type of study	Retrospective	Prospective	Prospective	Prospective
No. of donor sites	67	86	95	121
Type of skin graft	Partial thickness	Partial thickness	Partial and full thickness	Full and partial thickness
Loss of skin graft (%)	28 ^a	16	6	4 ^b
Exposure of tendon (%)	28 ^a	13	0 ^a	3
Delayed healing (%)	28 ^a	22	5 ^a	4

Figures have been rounded to nearest percentage point.

^a Assumed or estimated.

^b At day 30.

Abb. 94: Tabelle zum Vergleich von Studien zu sub- und suprafaszialer Lappenhebung (Aus Artikel Nr. 62, *Avery et al.*, [40] Genehmigung erteilt).

Ebenso konnten *Shonka et al.* (s. Anhang, Artikel Nr. 63) in einer Vergleichsstudie bei der suprafaszialen Lappenhebung und anschließender STSG-Transplantation keine Sehnenfreilegungen und eine damit einhergehende längere Wundheilungsdauer und unter Umständen eingeschränkte Funktionalität beobachten [36]. Bei der subfaszialen Lappenhebung und anschließender STSG- Transplantation war hingegen eine erhöhte Rate an Hämatomen und eine erhöhte Inzidenz von 22 % Sehnenfreilegungen aufgetreten.

Lee et al. untersuchten die ästhetischen und funktionellen Ergebnisse nach subfaszialer Radialislappentnahme und dessen Versorgung mittels Spalthauttransplantation (Oberschenkel) mit anschließender Immobilisierung für 2 Wochen durch einen Splint in Dorsalflexion des Handgelenkes [165]. Dieser wurde in etwa 30° – 45° appliziert, sodass ein flaches und immobiles Wundbett (Sehnenbedeckung zusätzlich mittels Muskelbäuchen) zur besseren Transplantateinheilung gewährleistet werden konnte. Sie konnten eine relativ hohe Erfolgsrate (11 % Sehnenfreilegung) und trotz Reduktion der motorischen Funktion (*pinch strength*: -9.81 %, Griffstärke: -12.6 %, Flexion: -17,6 %, Extension: -13,4 %) und Sensation eine hohe funktionelle Patientenakzeptanz erzielen. Hinsichtlich der Ästhetik konnte jedoch eine nur mittelmäßige Akzeptanz und Farbanpassung erzielt werden (s. Abb. 95), wobei die Autoren dieses Verfahren als gut anwendbar beschreiben.



Abb. 95: Radialislappendonorstelle 1 Jahr postoperativ nach Deckung mittels STSG und Splintversorgung für 12-14 Tage in Dorsalflexion.
(Aus Artikel Nr. 64, Lee et al., [165] Genehmigung erteilt)

Chau et al. (s. Anhang, Artikel Nr. 61) verglichen im Rahmen einer randomisierten prospektiven Studie die Anwendung der sub- bzw. suprafaszialen Lappenhebung mit jeweils einem „*meshed*“ oder „*non-meshed*“ („*Sheet*“) Spalthauttransplantat [39]. Hierbei konnten sie bei der suprafaszialen Lappenentnahme und der anschließenden „*Sheet*“-Transplantation keine Sehnenfreilegung, die besten ästhetischen und funktionellen Resultate erzielen. Als Grund hierfür wird einerseits das gut vaskularisierte und relativ immobile Wundbett durch die Schonung der Faszie und andererseits die geringere Notwendigkeit einer Reepithelialisierung und die höhere Toleranz gegenüber Scherkräften eines „*Sheet*“-STSG's genannt. Dahingegen betrug die Rate an Sehnenfreilegungen in der Gruppe der subfaszialen Lappenhebung bei anschließender Versorgung mit einem „*meshed*“ STSG 33 % und wies die höchste Rate an Transplantatabstoßung und die schlechteste Ästhetik auf. Zudem wurden in beiden Gruppen (sub-/suprafasziale Hebung) der „*meshed*“ STSG-Transplantation eine signifikante Reduktion des ADL (*activities of daily living*) binnen der ersten 4 Wochen festgestellt (später nicht mehr signifikant), was vermutlich auf die erhöhte Rate an Sehnenfreilegungen bei verzögerter Wundheilung zurückzuführen ist. Funktionell konnten die vier Gruppen als ähnlich gut beschrieben werden.

Im Rahmen einer weiteren Vergleichsstudie, sollte die Defektdeckung nach Radialislappentnahme mittels FTSG, STSG und STSG in Kombination mit einem AlloDerm untersucht werden [24]. Es konnten in allen 3 Gruppen zufriedenstellende und keine signifikant abweichenden Ergebnisse hinsichtlich Ästhetik und Funktionalität (sowohl objektiv, als auch subjektiv) festgestellt werden (s. Abb. 96). Somit schlussfolgern die Autoren, dass alle Verfahren ihre Berechtigung haben und deren Auswahl sich je nach Präferenz des Operateurs richten sollte. Zwar ist durch das AlloDerm ein dickeres Wundbett und durch die höhere Schichtstärke des Vollhauttransplantates unter Umständen eine bessere Wundheilung zu erwarten [100], jedoch kann in dieser Studie das ästhetische Ergebnis nach STSG-Transplantation am ehesten überzeugen (statistisch nicht signifikant). Als möglichen Grund hierfür nennen die Autoren die längere postoperative Kontrollzeit nach STSG-Transplantation, dessen dickere Schicht (0.014 - 0.018 inch) und die Insertion von Inzisionen bei FTSG („*pie-crusting*“), was zu schlechteren Ergebnissen führen könnte. Letztere sollten demnach reduziert Anwendung finden. Als Vorteil des STSG wird die leichtere Entnahme und die Vertrautheit einer Vielzahl von Operateuren mit diesem Verfahren genannt, wobei gemäß dieser Studie ein erhöhtes Risiko für partielle Transplantatabstoßungen und Sehnenfreilegungen bei erhöhten postoperativen Schmerzen an der Entnahmestelle Berücksichtigung finden sollte. Bei der Anwendung des AlloDerms hinterfragen die Autoren die erhöhten Kosten und die verlängerte Operationszeit im Vergleich zu dessen Nutzen. Durch die Dicke des FTSG kann die Sehne am Unterarm gut bedeckt werden, jedoch sollte eine damit

einhergehende höhere Schrumpfungseignung und die in dieser Studie statistisch signifikante Reduktion der Flexionsbewegung des Handgelenkes und der ulnaren Deviation berücksichtigt werden. An dieser Stelle ist die relativ geringe Probandenanzahl (25 Patienten) und die nicht erwähnten Informationen hinsichtlich Wundflächengröße und Wundheilungsdauer zu konstatieren.



Abb. 96: Zustand nach Anwendung verschiedener Verfahren. Transplantation von STSG (links), STSG+AlloDerm (Mitte) und FTSG (rechts) am ventralen Unterarm. (Aus Artikel Nr. 60, Ho et al., [24] Genehmigung erteilt).

Weiter oben wurden bereits die Möglichkeiten der Vollhauttransplantation aus dem inneren Oberarm und aus der Leiste mit ihren Vor- und Nachteilen besprochen. Ebenso wird die Vollhautentnahme aus dem Bauch in der Literatur beschrieben. *Gaukroger et al.* untersuchten diese Methode als gute Alternative zu lokalen Vollhauttransplantationen (s. Abb. 97), welche teilweise lange Zeiten der Immobilisation benötigen [166]. Es konnten einige Dyspigmentierungen beobachtet und eine Heilungsdauer von etwa 6 Wochen angegeben werden. Um Hämatome zu vermeiden, wird eine Immobilisation für 2 Wochen (anschließend noch 1 Woche nächtlich) bei leichter Extensionshaltung empfohlen, um den Freiraum zwischen Flexor carpi radialis und brachioradialis zu minimieren, indem Ersterer flach auf dem Flexor pollicis longus zum Liegen kommt [55, 167]. Die Entnahmestelle der Vollhaut am Bauch kann zwar primär (Schichtweise) verschlossen werden, kann jedoch bei großflächigeren Wunden eine lange und auffälligere Narbe hinterlassen. Dieser Verschluss gelingt bei älteren Patienten aufgrund der erhöhten Elastizität besser.

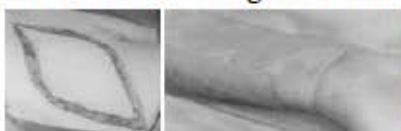


Abb. 97: FTSG. Entnahme der Vollhaut am Bauch (links) und Zustand nach Vollhauttransplantation auf ventralen Unterarm 6 Wochen postoperativ (rechts). (Aus Artikel Nr. 57, *Gaukroger et al.*, [166] Genehmigung erteilt).

Die hohe Relevanz der Extensionshaltung und der Immobilisation des Handgelenkes wird ebenso durch *McGregor et al.* (s. Anhang, Artikel Nr. 59) beschrieben [167]. Anstatt eines FTSG, nutzen diese ein STSG zur Defektdeckung am Unterarm und immobilisieren anschließend den Unterarm vollständig mit einem Splint und in absoluter Extensionshaltung für 20 Tage (10 Tage postoperativ erste Kontrolle). Hierbei erzielten sie ähnliche Ergebnisse wie auch *Gaukroger et al.* [166] bei guter funktioneller Beweglichkeit des Handgelenkes. Eine zu frühe Mobilisation würde das Risiko von Ulzerationen, Transplantatverlusten bei verlängerter Wundheilungsdauer und Funktionsverlust steigern. *Toschka et al.* (s. Anhang, Artikel Nr. 68) untersuchten ebenso die Morbiditätsrate nach einer Spalthauttransplantation (0,6 mm) vom Oberschenkel auf den Unterarm mit anschließender Immobilisation für 10 Tage [168]. Hierbei konnte eine hohe Patientenzufriedenheit, ein moderates ästhetisches Ergebnis, geringe funktionelle Einschränkungen des Handgelenkes bei jedoch erhöhten Sensationsproblematiken beobachtet werden. Final beschreiben die Autoren, ebenso wie auch *Brown et al.* die Morbiditätsrate nach radialer Hauttransplantation als gering. *Brown et al.* (s. Anhang, Artikel Nr. 69) konnten nach subfasziärer Lappenhebung, trotz einiger objektiver funktioneller Einschränkungen feststellen, dass diese subjektiv zu keiner funktionellen Einschränkung geführt haben und dass der subfasziär entnommene Radialislappen, vor allem im Vergleich zum *Pectoralis major myocutanen* Insellappen, eine geringe Morbidität mit sich bringt [169].

Suominen et al. betonen hingegen die mit einer Radialislappenentnahme einhergehenden Problematiken und die anschließende Donorstellenmorbidity [170]. Demnach sollte präoperativ eine möglichst ausführliche Aufklärung der Patienten hinsichtlich der teilweise kompromittierten Ästhetik und der eingeschränkten Funktion oder auch dem sensorischen Defizit (56% der in dieser Studie untersuchten Patienten) erfolgen. 4 der 18 mit einem STSG (nach subfasziärer Lappenentnahme) versorgten Patienten hätten nach Beurteilung des ästhetischen Ergebnisses dem Eingriff nicht noch einmal zugestimmt und

andere Patienten konnten ihrem Beruf aufgrund der funktionellen Bewegungseinschränkung nicht mehr vollständig nachgehen (s. Abb. 98).



Abb. 98: Klinisches Foto einer mit dem ästhetischen Endresultat nicht zufriedenen Patientin. (Aus Artikel Nr. 71, *Suominen et al.*, [170] Genehmigung erteilt).

Motomura et al. untersuchten insbesondere die postoperative Nachsorge am ventralen Unterarm [171]. Hierzu entnahmen sie ein FTSG aus dem Bauch, um durch einen primären Wundverschluss die Belastung des Patienten zu reduzieren. Anschließend wurde aus diesem Vollhauttransplantat eine STSG (0.020 inch) entnommen und auf den Unterarm transplantiert, da gemäß den Autoren eine STSG-Transplantation einfacher durchzuführen ist. Hiervor wurden außer einer vorsichtigen RFFF-Entnahme keine weiteren Maßnahmen zur Wundbettpräparation durchgeführt. Es wird eine anschließende Versorgung der Wunde mit Druck und Feuchtigkeit (adhäsiver Schwamm und Hydrokolloid Verband) für mindestens 6 Monate beschrieben, was zu deutlich besseren ästhetischen Ergebnissen führt als bei üblicherweise durchgeführten STSG-Transplantationen.



Abb. 99: Wundversorgung – Adhäsiver Schwamm (FixtonTM, Nichiban, Japan) (rechts) wird auf Hydrokolloid-Verband (Duo activeTM, ConvaTec, USA) (links) aufgelagert. (Aus Artikel Nr. 58, *Motomura et al.*, [171] Genehmigung erteilt).



Abb. 100: Zustand postoperativ – nach RFFF-Entnahme vom dominanten Arm und nach RFFF-Entnahme vom nicht-dominanten Arm. (Aus Artikel Nr. 58, *Motomura et al.*, [171] Genehmigung erteilt).

4 Diskussion

In der Literatur werden immer wieder insbesondere drei Problemstellungen im Rahmen der Hauttransplantation, speziell nach einer Radialislappentransplantation, angesprochen, welche mittels neuen, aber auch altbewährten oder auch erweiterten Verfahren nach einer Lösung streben.

Zum einen besteht das Problem der sekundären Wunde, welche nach einer meist standardmäßig durchgeführten Vollhaut- oder auch Spalthauttransplantation entsteht. Diese gilt es einerseits zu versorgen und andererseits sollten die hiermit einhergehenden zusätzlichen Schmerzen, das erhöhte Wundinfektionsrisiko und der protrahierte Wundheilungsverlauf beachtet werden. Dies ist häufiger nach einer Spalthauttransplantation zu beobachten, da die Wundfläche nach einer Vollhautentnahme, je nach Transplantatgröße, direkt verschlossen werden sollte [24, 37].

Das zweite Problem ist das der erhöhten Entnahmemorbidität, welche oftmals nach Radialislappentnahme, in Form von exponierten Sehnen und eingeschränkter Funktion auftaucht [170].

Die dritte Problematik ist die der sogenannten „*limited donor site skin*“. Dies beschreibt insbesondere den Zustand bei großflächigen Wundflächen am Unterarm. Um diese suffizient decken zu können, bedarf es einer ausreichenden Transplantatquantität. Diese richtet sich hierbei zum einen nach der Region der Donorstelle (Arm weniger Hautfläche als Oberschenkel), nach der Hautelastizität (abhängig von Alter, Geschlecht und Körperregion) und nach der gewählten Transplantationsform. So können Spalthauttransplantate nach ihrer Entnahme durch besondere Aufbereitungsmaßnahmen als vergrößerte „*meshed STSG*“ Anwendung finden. Bei einer Vollhautentnahme hingegen ist die Fläche an Vollhaut dadurch limitiert, dass anschließend diese Wundfläche spannungsfrei primär verschlossen wird, es sei denn eine Spalthaut wird für dessen Verschluss entnommen. Nach einer nicht ausreichenden oder nicht erfolgreichen Vollhaut- oder auch Spalthauttransplantation wird zudem die erneute Hautentnahme an dieser Donorstelle nahezu unmöglich, was somit eine limitierte Donorstellenverfügbarkeit darstellt [34].

Bisher galt die Epidermistransplantation aufgrund der nicht reproduzierbaren, zeitaufwendigen und nicht standardisierbaren Transplantatentnahme nicht als Mittel der Wahl zur Deckung von Defekten. Mithilfe des aktuell in dieser Studie verwendeten Systems, können jedoch gleichmäßige epidermale Zellnester an der dermoepidermalen Junctionszone, ohne jegliche manuelle Nachbearbeitung, von der Donorstelle gelöst und transplantiert werden. Diese sogenannten *Microdomes* „bestehen aus intaktem Epithel mit [den darin enthaltenen] Keratinozyten und Melanozyten“ [69]. Durch dieses vereinfachte, automatisierte System erlangt die autologe epidermale Hauttransplantation in bestimmten Fällen neben den herkömmlichen Verfahren eine klinisch hohe Relevanz. Im Jahre 2012 wurde dieses Verfahren erstmalig in Haiti (Porte-au-Prince) angewendet, wo 2 Jahre nach einem starken Erdbeben die Versorgung von chronischen und akuten Wunden noch ein erhebliches Problem darstellte. Der Eingriff mit Hilfe des Cellutome-Systems führte in 6 von 7 Fällen zu einem Wundverschluss nach 4 Wochen, womit beispielsweise dessen Einsatz in Ländern mit wenig medizinischen Möglichkeiten und finanziellen Mitteln eine sehr gute Lösung darstellt [97]. Vorteil des Verfahrens ist zudem die hohe Patientenzufriedenheit, da eine hervorragende Donorstellenoptik gewährleistet werden kann wie ebenfalls *Smith et al.* bereits feststellen konnten [172]. Da aufgrund der minimalinvasiven und schmerzarmen Transplantatentnahme ein zweiter operativer Eingriff entfällt und es keiner Narkose bedarf, kann dieser Eingriff ambulant, schnell und kostengünstig durchgeführt werden. Somit kann eine sehr geringe Belastung des Patienten gewährleistet werden. Zudem kann eine zweite Donorstelle

umgangen, eine geringe Morbidität erreicht und bei Bedarf aufgrund der hohen Donorstellenverfügbarkeit, welche nach 7 bis maximal 28 Tagen wieder gegeben ist, eine wiederholte Hautentnahme durchgeführt werden [83, 172]. Diese drei Aspekte scheinen einen Lösungsansatz für die oben beschriebenen Hauptproblematiken zu bieten.

Bis auf eine Patientin von 10 konnten in unserer Studie keinerlei Komplikationen, weder an der Akzeptor- noch an der Donorstelle festgestellt werden. Die im Rahmen dieser Studie untersuchten Patienten wiesen trotz unterschiedlicher allgemeinanamnestischer Erkrankungen (zum Beispiel Diabetes, Herzinsuffizienz) und spezieller anamnestischer Angaben (Rauchen, Alkoholkonsum etc.) keine signifikanten Unterschiede in der Wundheilung auf. Bei einem Probanden mit Zustand nach Radiatio im Mund-, Kiefer- und Halsbereich, nach vorangegangener V.A.C.-Therapie am ventralen Unterarm, konnte sogar die schnellste Reepithelialisierung erzielt werden.

Zu diesem Ergebnis kamen ebenfalls *Cai et al.*, die die Versorgung von komplexen, behandlungsresistenten und nicht heilenden (Wunddauer Median: 5,7 Monate) akuten beziehungsweise chronischen Defekten (unter anderem regio Schulter, Abdomen, Gesäß, Leiste, Beine, Knöchel) mittels des Cellutome-Systems untersuchten. Hierbei handelte es sich ausschließlich um multimorbide Patienten, welche für einen weiteren operativen Eingriff unter Narkosebedingungen ungeeignet waren. Bei der Wundheilung konnten keine Komplikationen in der Spender- und Donorregion festgestellt werden. Die Wundheilung an der Donorstelle erfolgte bei allen Patienten, ähnlich unserer Studie, binnen 1 Woche. Aufgrund der schnellen und weitestgehend komplikationsfreien Transplantatentnahme, konnte bei Bedarf erneut Haut entnommen werden, wobei *Cai et al.* hierfür eine andere Donorstelle nutzten [83]. Die zuvor therapieresistenten Akzeptorstellen heilten in 4 von 9 Fällen vollständig (Median 13,1 Woche) und in den weiteren Fällen erfolgte eine Wundreduktion um 79 %.

Die Akzeptorstellenoptik am ventralen Unterarm im Rahmen unserer Studie kann als akzeptabel bis gut beschrieben werden, ist jedoch gemäß unseren Resultaten nicht gleichwertig mit dem ästhetischen Ergebnis nach einer Vollhaut- oder aber auch nach einer Spalthauttransplantation. Andere Autoren wie *Smith et al.* beschreiben im Gegensatz ähnlich gute ästhetische Resultate im Vergleich mit unterschiedlichen Verfahren bei der Wunddeckung [172]. Da es sich bei der Akzeptorstelle jedoch um eine exponierte Körperstelle mit hohem ästhetischen Anspruch handelt, ist trotz der zahlreichen positiven Eigenschaften und Anwendungsbereiche (multimorbide Patienten, ambulanter, kostengünstiger, schneller, risikoarmer und organisatorisch wenig aufwendiger Einsatz), basierend auf den Ergebnissen dieser Studie zu sagen, dass es sich zurzeit noch um eine gute Kompromisslösung handelt. Als Nachteil des angewandten Verfahrens ist ein verlängerter Wundheilungsverlauf an der Akzeptorstelle (Durchschnitt 72,4 Tage) und somit eine erhöhte Patientencompliance, Pflege, vermehrte Nachkontroll- und Behandlungstermine zu nennen. Wie bei allen Verfahren ist auch hier ein gut granuliertes, sauberes und trockenes Wundbettareal für eine gute Wundheilung notwendig. Daher sind regelmäßige Verbandswechsel sehr wichtig.

In der Literatur werden seit 1964 mit der Einführung der epidermalen Hauttransplantation durch *Kiistala und Mustakalito* [91] unterschiedlichste Einsatzmöglichkeiten dieser Methode beschrieben. *Falabella* führte weitere Untersuchungen zur Deckung von depigmentierten Regionen, aber auch von granulierten Wunden durch [173]. Diese beiden Studien stellten die Basis für weiterführende Untersuchungen auf diesem Gebiet dar. Beispiele hierfür sind unter anderem die Therapie von chronisch diskoidalem Lupus erythematodes [115], Hypopigmentierungen (zum Beispiel nach Verbrennungen), von stabilem Vitiligo [95, 96, 112, 174], von chronischen und akuten Wunden (zum Beispiel diabetische Fußulzera), von nicht-heilenden Wunden nach Tumorresektionen, aber auch von Patienten mit einem Pyoderma

gangraenosum [175]. Alle Autoren konnten gute und stabile Ergebnisse bei der Behandlung der oben genannten Wundflächen beschreiben. *Yamaguchi et al.* (2004) verzeichneten schnellere Heilungszeiten bei therapieresistenten diabetischen Fußulzera und sogar das Vermeiden von Amputationen bei Patienten mit bereits freiliegendem Knochen [92]. *Costanzo et al.* untersuchten chronische nicht heilende Beinulzera, welche mittels Epidermistransplantation nach 2 - 6 Wochen zu 55 % verheilt waren und *Ichiki und Kitajima* (2007) konnten bei der Behandlung von therapieresistenten Fußulzera bereits nach 14 Tagen eine Einheilung des Transplantates erkennen [94, 109]. Zur Behandlung von Dyspigmentierungen nach Verbrennungen haben *Burm et al.* epidermale Transplantate für hypopigmentierte Areale von der Oberschenkelinnenseite oder vom Bauch entnommen, wohingegen epidermale Hauttransplantate vom Gesäß oder von der Fußsohle zur Deckung von hyperpigmentierten Arealen entnommen wurden. Nach 4 - 5 Tagen konnten *Burm et al.* ein vollständig angewachsenes Transplantat beobachten [93].

Diese positiven Ergebnisse können wir bezogen auf unser Einsatzgebiet, also zur Weichgewebsdeckung nach Radialislappentransplantation, bestätigen. Alle diese in der Literatur als erfolgreich beschriebenen Methoden der epidermalen Hauttransplantation beruhen auf dem Suction-Blister Verfahren. Dieses produziert mit Hilfe von Unterdruck und Wärme epidermale Blasen. Im Gegensatz zu der hier vorgestellten automatisierten und reproduzierbaren Methode, wurden bisher die epidermalen *Microdomes* mit Hilfe von Spritzen, Saugpumpen, Saugnäpfen und Dreiwegehähnen gebildet. Diese wurden nach 30 Minuten (*Hanafusa et al.*) [110] bis hin zu 4 Stunden (*Burm et al.*) [93] manuell mit einem Skalpell oder einer Irisschere herausgeschnitten. Im Hinblick auf die benötigte Zeit zur Microdomebildung sind daher mit einer Durchschnittszeit von 35,1 Minuten signifikante Vorteile bei dem Cellutome-System zu nennen. Zudem kann die gleichmäßige Epidermistransplantation mittels Strukturschablone, ein regulierbarer Druck beziehungsweise Wärme über die Basisstation und eine präzise Transplantatentnahme ohne manuelle Nachbearbeitung gewährleistet werden. Dies führt daher zu einer erhöhten Genauigkeit, einer Zeitersparnis (s. Ergebnisse klinische Studie), Entlastung des Patienten, Vereinfachung für den Behandler und somit ebenfalls zu Kostenersparnissen.

Unterschiedliche Fallstudien erfolgten bereits zur Erprobung des Cellutome-Systems. Diese beschäftigten sich unter anderem mit diabetischen Fußulzera, intraepidermale Carcinoma in situ (Morbus Bowen) am äußeren Rand der Ohrmuschel, lymphatischer Filariose und Ulcus cruris venosum. Die Wunden an den Entnahmestellen heilten ähnlich wie bei unseren Patienten nach 7 - 30 Tagen und zeigten keinerlei Vernarbungen oder Pigmentverluste. Je nach Wundgröße heilten die Akzeptorstellen im Rahmen der alio loco durchgeführten Fallstudien unterschiedlich schnell (zum Vergleich mit vorliegender Studie s. Tabelle 3 und 4): nach 4 Wochen Wundheilung bei einer Wundgröße von 0,7 cm (nach Mohs-Chirurgie bei Morbus Bowen an Ohrmuschel, Patient 80 J.), nach 5 Wochen bei einer Wundgröße von 1,5 cm x 2,3 cm x 0,1 cm (Patientin 66 J., Zustand nach Abszessdrainage am Fuß), nach 24 Tagen bei einer Wundgröße von 1,5 cm x 1,5 cm x 0,3 cm (Patient 58 J., therapieresistenter diabetischer Fußulkus), nach 17 Tagen bei einer Wundgröße von 1,0 cm x 1,5 cm x 0,2 cm (Patient 50 J., therapieresistenter Ulcus cruris venosum), [69]. Die Behandlung chronischer, ulzerierender und schwer therapierbarer Wunden wie es bei der Pyoderma gangraenosum gegeben ist, wurden von *Richmond et al.* mittels des Cellutome-Verfahrens behandelt. Es waren keinerlei Komplikationen, weder an Spender- noch an Akzeptorstelle zu beobachten. Die Donorstellen aller Patienten heilten im Rahmen seiner Studie ebenfalls schmerzfrei und bereits binnen einer Woche. Die Heilung an der Akzeptorstelle führte zu unterschiedlich guten Resultaten, welche von Wundflächenreduktion bis hin zu vollständigem Wundverschluss reichten. Nach bereits 7 Wochen konnte zum Teil eine vollständige Reepithelialisierung der Akzeptorstelle beobachtet werden, in einigen Fällen konnte diese erst nach erneuter epidermaler Transplantation nach 5 - 12 Wochen erzielt werden. Eine Reduktion der Wundflächen erfolgte jedoch um mindestens 69 %, bis hin zu 99 % binnen 8 Wochen [175].

In der Literatur haben sich bereits einige Autoren mit dem Vergleich von Spalthaut- und systematisierten Epidermistransplantationen beschäftigt. Es stellte sich heraus, dass nach Anwendung des Cellutome-Systems eine höhere Patientenzufriedenheit erreicht werden konnte als nach Spalthauttransplantation. Nur 50 % der untersuchten Patienten waren zufrieden mit dem ästhetischen Resultat an der Donorstelle nach einer Spalthautentnahme (100 % bei Therapie mit autologer Epidermistransplantation) bei ähnlich guten Resultaten an der Akzeptorstelle [172]. Diese Ergebnisse können wir durch unsere Studie und das subjektive Empfinden unserer befragten Patienten bekräftigen. Die längeren Heilungszeiten (im Durchschnitt 6 Wochen bei einer Epidermistransplantation, 5 - 7 Tage lockerem Überknüpfverband bei STSG beziehungsweise circa 10 Tage Überknüpfverband bei FTSG bei bis zu 9 Wochen Wundheilungsdauer) führten bei allen Patientengruppen in *Smith*' Studie zu einer Unzufriedenheit [172],[23],[31],[166]. Ein großes Problem bei dem STSG (*Split-thickness skin graft*) stellt die hohe postoperative Donorstellenmorbidity dar, welche mit zusätzlichen Schmerzen, erhöhtem Infektions- und Vernarbungsrisiko, aber auch gelegentlich gar längerer Heilungszeit als an der Akzeptorstelle einhergeht, insbesondere bei Patienten mit Komorbiditäten [24, 37, 53, 56, 172, 176]. Im Vergleich zu nur 25 % der von *Smith et al.* untersuchten Probanden, welche eine Deckung mittels STSG erfuhren, war bei 100 % der Patienten, welche mittels Epidermistransplantation therapiert wurden keinerlei Donorstellenmorbidity zu erkennen [172].

Weitere Nachteile der Spalthauttransplantation liegen wie bereits oben beschrieben in der zusätzlichen Belastung des Patienten, da ein erneuter operativer Eingriff mit Anästhesie (schmerzhafte Transplantatentnahme) notwendig ist. Es besteht zudem ein erhöhter Nachsorgebedarf an der Donorstelle (in Form von Verbandswechseln), der Bedarf an speziell benötigtem Equipment, einem Operationssaal mit entsprechender Vor- und Nachbereitung und den damit verbundenen erhöhten Kosten. Studien in Großbritannien ergaben, dass ein Eingriff mittels Cellutome im Vergleich zu operativen Eingriffen (Spalthauttransplantation) nur 1/3 der Kosten verursacht [172].

Im Vergleich zwischen den beiden Standardverfahren konnten einige Autoren eine Überlegenheit der Vollhauttransplantate hinsichtlich Ästhetik, Sensibilität, Vernarbung, Funktionalität, Sehnenbedeckung, Heilungsdauer, Wund Schrumpfungstendenz gegenüber Spalthauttransplantaten feststellen [30, 40, 81, 166]. Eine angemessene Ruhigstellung beider Transplantatformen mittels Splint wird von vielen Autoren als förderlich für die Transplantateinheilung- insbesondere von Vollhauttransplantaten aufgrund der Schichtdicke- beschrieben [37, 164, 166, 167]. Ebenfalls konnten eine verringerte Donorstellenmorbidity und eine schnellere Heilung an der Entnahmestelle (aufgrund der Möglichkeit eines primären Wundverschlusses) beobachtet werden [29, 65, 79, 81, 162]. Zwar kann die Entnahme von Spalthaut im Allgemeinen meist einfacher und gleichmäßiger durch ein Dermatom vollzogen werden und ebenso kann die Entnahmestelle von Spalthauttransplantaten zwar allein mit Verbänden versorgt werden, jedoch ist eine häufige Assoziation mit Komplikationen, Wundheilungsstörungen, Juckreiz oder starken Schmerzen nach der Entnahme vorzuweisen [37, 79]. Diese können zudem eine hohe ästhetische Unzufriedenheit an der Donorstelle mit sich bringen. Dennoch ist zu beachten, dass aufgrund der Entnahme aller Hautschichten nach einer Vollhauttransplantation ein direkter Wundverschluss notwendig wird [80, 104]. Dieser stellt wiederum eine Limitation der Hautflächenentnahme und eine Herausforderung mit erhöhtem zeitlichen und finanziellen Aufwand dar. Bei großflächigeren Wunden kann dann unter Umständen eine zusätzliche Deckung mit einem Spalthauttransplantat erforderlich sein, was eine weitere Narbe und Beschwerden verursachen kann. Bei der Planung der Transplantatgröße sollte standardmäßig sowohl bei Spalthaut- als auch bei Vollhauttransplantaten, insbesondere bei größeren Defekten, bei älteren und weiblichen Patienten die erhöhte Schrumpfungstendenz berücksichtigt werden.

Je nach Lokalisation der Entnahmestelle sind unterschiedlich ausgeprägte Limitationen gegeben: bei Vollhauttransplantaten werden oft der obere Innenarm (Gefahr von Dehissenzen und weniger Hautquantität, aber kurze OP-Dauer aufgrund naher Lagebeziehung zum Unterarm, wenig sichtbare Stelle und geringeres Risiko für Verletzung anatomischer Strukturen) [40, 70, 161], das Abdomen (auffällige und insbesondere bei größeren Wundflächen ausgeprägte Narben und erhöhtes Risiko für Hämatome, dicke Hautqualität und Farbunterschiede zu Unterarm erhöht) [166, 177] oder auch die Leistenregion (unauffällige Region, größere Transplantate möglich, Dehissenzen möglich, Cave bei Transgenderchirurgie: hier wird Haut an dieser Stelle eventuell nochmals benötigt) gewählt [41]. Auch lokale Lappenplastiken (für kleine bis mittelgroße Defekte), bei denen angrenzend an die Akzeptorstelle Vollhaut am ventralen Unterarm entnommen beziehungsweise verschoben wird, sind zur Sicherung eines anschließenden spannungsfreien Verschlusses durch die Größe des Radialislappens limitiert [151]. Dennoch bestechen sie durch die kurze Operationsdauer und das Erzeugen einer einzigen Narbe, welche nach der Radialislappentransplantation ohnehin unumgänglich wäre. Bei Spalthauttransplantationen wird vorzugsweise der Oberschenkel gewählt.

Einige Autoren stellen jedoch ebenso fest, dass trotz einiger Vor- und Nachteile beider Standardverfahren, keine signifikanten Unterschiede gegeben sind [79-81, 178]. Sowohl Spalthaut- als auch Vollhauttransplantate können mit einer erhöhten Donorstellenmorbidity, starken Schmerzen, Infektionen, ästhetischen Defiziten, hypertrophen Narben, einer zusätzlichen Belastung für den Patienten durch die Operation (zumeist in Intubationsnarkose), hohen Kosten / größerem Aufwand mit vielen Nachkontrollen und Verbandswechseln einhergehen [57, 80].

Bei einer nicht erfolgreichen Transplantation besteht das Problem der limitierten Donorstellenverfügbarkeit, die hierbei eine Hürde darstellen würde. Auch wenn unterschiedliche Studien verzeichnen, dass eine gescheiterte Epidermistransplantation ebenfalls möglich sein kann, so kann jedoch aufgrund der nicht limitierten Donorstellenverfügbarkeit durch eine anschließende und schmerzarme Epidermistransplantation ein Erfolg erzielt werden. So erfolgte die epidermale Hauttransplantation mittels Cellutome-System bei einem Patienten in der Studie von *Cai et al.* 3 mal binnen 8 Monaten [83]. Die Transplantation kann deshalb schmerzfrei durchgeführt werden, da bei der Epidermisentnahme die Schmerzfasern, welche in der Dermis vorzufinden sind, nicht irritiert werden (VAS in hier vorliegender Studie 1,1 bei der Entnahme). Die gute farbliche Adaptation kann aufgrund der in der Epidermis vorzufindenden Keratinozyten und Melanozyten erzielt werden und wird vermutlich gerade deswegen bei Patienten mit Dyspigmentierungen angewandt.

Um großflächigere Wunden decken zu können, werden zurzeit noch standardmäßig entweder eine Spalthaut- oder eine Vollhauttransplantation angewandt. Insbesondere Spalthauttransplante werden hierfür gewählt. Unter anderem finden sie als sogenannte „*mesh-grafts*“ oder „*Meek-grafts*“ [90], welche gerne bei großflächigen Verbrennungen genutzt werden, Anwendung. Alternativ kann eine wiederholte epidermale Hauttransplantation durchgeführt werden.

Eine Studie, welche die Deckung der Radialislappentnahmestelle mit Vollhaut-, Spalthaut oder auch Spalthaut kombiniert mit azellulärer dermaler Matrix (Alloderm) verglich, konnte keine statistisch relevanten Unterschiede in funktioneller, als auch ästhetischer Hinsicht beschreiben [24]. Dennoch konnte ein leichter, statistisch nicht signifikanter ästhetischer Vorteil in der Gruppe mit dickerer Spalthaut (0.014 - 0.018 inch), bei jedoch erhöhtem Risiko für Sehnenfreilegungen und Schmerzen beobachtet werden. Dennoch weist eine Mehrheit der Studien darauf hin, jedoch ebenfalls statistisch meist nicht signifikant, dass Vorteile hinsichtlich Ästhetik und Patientenzufriedenheit in der FTSG-Gruppe festzustellen sind [37, 80]. Komposittransplantate (STSG+Alloderm) gehen zwar mit erhöhten Kosten und einer erhöhten Operationsdauer einher, weisen jedoch ebenfalls gute Resultate auf. Andere Vergleichsstudien konnten in den Kompositgruppen im Vergleich zu FTSG oder auch zu STSG bessere ästhetische und funktionelle Ergebnisse bei geringeren Komplikationsraten aufzeigen. Im Falle eines

Transplantatverlustes konnte zudem aufgrund von stattfindender sekundärer Heilung auf eine weitere Hauttransplantation verzichtet werden [72, 102, 145, 147]. Hierbei wurden jedoch auch wiederum einzeitige von zweizeitigen Verfahren unterschieden. Letztere gehen mit einer erneuten Belastung und dennoch einer sekundären Wunde einher, wenn nicht nur allodermale Transplantate Verwendung finden sollten [106]. Die alleinige Transplantation von allodermalem Hautersatz kann zu deutlich verlängerten Wundheilungszeiten führen [179].

Das ästhetische und funktionelle Ergebnis an der Empfängerstelle (Unterarm) nach einer Vollhauttransplantation, mit einem Überknüpfverband zur Fixierung, wird in der Literatur als am besten eingeordnet. Hingegen wird das ästhetische Ergebnis an der Donorstelle (Oberschenkel) nach der Epidermistransplantation als wünschenswert beschrieben. Dennoch bedienen sich viele Chirurgen bevorzugt der Spalthauttransplantation, da durch das Dermatom eine gleichmäßige und vereinfachte Entnahme möglich ist, die Vergrößerung im Sinne eines „mesh-grafts“ bei großen Defektdeckungen Anwendung findet und die Donorstelle, bei ästhetisch akzeptablem Ergebnis sowohl an Donor- als auch an Akzeptorstelle, in der Regel keiner zusätzlichen Deckung wie bei Vollhauttransplantaten mehr bedarf [64],[23],[121].

Die folgenden Tabellen sollen eine kurze Einschätzung der herkömmlichen Verfahren und des Cellutome-Systems gemäß Beobachtungen an dem Universitätsklinikum Düsseldorf darstellen:

	Vollhaut	Spalthaut	Cellutome
Vorbehandlung Akzeptorstelle	Lokalesinfektion, optional Vac™-Therapie bei verzögerter Granulation		
Ästhetik Akzeptorstelle	+++	++	+
Ästhetik Donorstelle	++	+	+++
Schmerzhaftigkeit des Verfahrens	+++	+++	(+)
Eingriff in:	Vollnarkose	Vollnarkose	Ohne Anästhesie
Bedingungen	Stationär (i.d.R.)	Stationär (i.d.R.)	ambulant
Initialer lokaler Wundverband	Drucküberknüpfverband für 10 Tage		Kompressen-Wickelverband für 5 Tage

Tabelle 8: Vergleich der Standardverfahren (Vollhaut- und Spalthauttransplantation) mit der automatisierten epidermalen Hauttransplantation gemäß des Universitätsklinikums Düsseldorf

	Vollhaut	Spalthaut	Cellutome
Zeit: Transplantation	60min plus Narkosevor- und Nachbereitung		60min
Zeit: Behandlung	Ca. 30d	Ca. 50d	76d
Personalaufwand	++	++	+
Materialaufwand	++	++	+
Ertrag*	2.700€	5.300€	2.000€
Codes:	5-896.- Chirurgische Wundnaht (Wunddebridement) mit Entfernung von erkranktem Gewebe an Haut und Unterhaut		
Entnahmestelle			
Codes:	5-902.6	5-902.5	5-902.x
Empfängerstelle	Vollhaut, großflächig	Spalthaut auf granulierendes Hautareal, großflächig	Freie Hauttransplantation, Empfängerstelle, Sonstige

Tabelle 9: Vergleich Wundheilungsdauer – Aufwand des Eingriffs-Kosten gemäß des Universitätsklinikums Düsseldorf

Legende:

- +++ = sehr gut bzw. sehr starke Schmerzen bzw. sehr hoch;
- ++ = akzeptabel/moderate Schmerzen;
- + = nicht gut bzw. keine Schmerzen

Ito et al. konnten zeigen, dass eine besondere Aufmerksamkeit der ästhetischen und funktionellen Versorgung des Unterarms nach Radialislappenentnahme gelten sollte, da diese nach erfolgreicher Behandlung der Hauptproblematik einen großen Stellenwert für die Patienten einnimmt [28]. Gemäß Witt et al. waren etwa 27 % der Patienten um das Endresultat besorgt [180]. Daher strebt die Forschung stets die Untersuchung weiterer Methoden an, mit dem Hauptziel gute funktionelle, ästhetische und komplikations- und belastungsarme Heilungsergebnisse zu erreichen.

Neben der Spalthauttransplantation („sheet“ oder auch „meshed“ STSG) gilt die Vollhauttransplantation ebenfalls als „Goldstandard“. Hierbei werden in der Literatur noch viele weitere Verfahren, die der Deckung von Wundflächen, insbesondere der Deckung von Radialislappenentnahmestellen am ventralen Unterarm dienen, beschrieben. Ziel hierbei ist es die herkömmlichen Nachteile der Standardverfahren zu umgehen und mindestens gleichwertige

funktionelle als auch ästhetische Resultate zu erlangen. Darunter sind vor allem der direkte Wundverschluss (auch unter Zuhilfenahme der Gewebeexpansion), die lokalen Lappentechniken, allogene, xenogene und artifizielle Transplantate (auch in Kombination mit anderen Techniken) zu nennen. Verfahren zur Lappenhebung (sub- oder suprafasziale Hebung), zur Wundbettvorbereitung wie zum Beispiel die Bedeckung der Sehne mittels umliegenden Muskelbäuchen, zur Wundflächenverkleinerung mittels Nahttechniken, aber auch zur anschließenden Wundversorgung mittels V.A.C.-Therapie oder auch Splinten wurden ebenfalls ausführlich beschrieben.

Neben den herkömmlichen Verfahren stellt die direkte Wunddeckung eine sehr gute Möglichkeit der Versorgung der Donorstelle am ventralen Unterarm dar. Diese Methode ist wünschenswert, da sie eine schnelle, einfache, komplikationsarme und aufgrund der Entnahme aus der Donorregion (Haut der gleichen Qualität) mit sehr guten ästhetischen Ergebnissen einhergehende Versorgungsform darstellt. Zudem bezweckt sie durch das meist einzeitige Verfahren, ebenfalls wie in unserer Studie, eine zweite Wunde und einen zweiten operativen Eingriff in Narkose möglichst zu vermeiden [56]. So konnten *Pirlich et al.* im Rahmen einer Vergleichsstudie zwar tendenziell bessere Ergebnisse hinsichtlich Ästhetik, Funktion und Heilung in der FTSG-Gruppe aufweisen, jedoch waren diese Ergebnisse ohne statische Signifikanz und bezogen sich auf kleinere zu deckende Wundflächen als in der Gruppe der primären Versorgung, welche eine weitere Donorstelle umgehen konnte [57].

Gemäß *Swanson et al.* sollte nach Möglichkeit der primäre Wundverschluss aus besagten Gründen gewählt werden. Hierbei werden in der Literatur diverse Verschiebetechniken, modifizierte Radialislappengestaltungen, aber auch präfabrizierte Radialislappen mit anschließendem primären Verschluss beschrieben [121].

Einen limitierenden Faktor für diese Methode stellt die benötigte Radialislappengröße dar, da eine gewisse Hautquantität und Elastizität (abhängig von Alter und Geschlecht) Voraussetzung für den spannungsfreien direkten Verschluss, unter Gewährleistung der Ernährung des Hauttransplantates, ist. Somit grenzen großflächige Defekte, aber auch die Hautelastizität, diese Methode auf eine gewisse Defektgröße ein und sind daher nicht standardmäßig anwendbar [29].

Bei den Verschiebetechniken werden unter anderem Wundgrößen von maximal 4 cm (Breite) und 6,5 cm (Länge) gemäß *Lane et al.* („local hatchet flap“) und gemäß *Mashrah et al.* („bilobed transposition flap“) von maximal 5 cm (Länge) und 8 cm (Breite) für einen spannungsfreien Verschluss beschrieben [122, 125]. In beiden Studien konnte ein Verlust der Griffstärke (5 kg und 3,86 kg) bei reduzierter Beweglichkeit der Hand beobachtet werden. Modifizierte Radialislappen wie der „Snake flap“ oder auch der „bipaddle RFFF“ zielen darauf ab zwar längere, aber schmalere Transplantate zu entnehmen und anschließend so zu segmentieren und zu rotieren beziehungsweise umzuordnen, dass diese dadurch breiter und an die Akzeptorstelle angepasst sind [126, 127]. Sowohl *Garg et al.* als auch *Chavre et al.* verglichen die schmalen Radialislappen mit der traditionellen Entnahme- und Versorgungstechnik mittels STSG und konnten beide in der konventionellen Gruppe mehr Sehnenfreilegungen, Wundheilungsstörungen, eine erhöhte Wundheilungsdauer und schlechtere ästhetische beziehungsweise funktionelle Ergebnisse beobachten [126, 130]. *Chavre et al.* und auch *Shaikh et al.* beschreiben eine maximale Breite von 2 cm und Länge von 10 cm bzw. 12 cm als optimal für einen primären Verschluss, wobei zuvor die Position der Arteria radialis genau ausgemacht werden sollte [129, 130]. *Zhang et al.* geben eine Breite von 3 cm und eine Länge von 12 cm an [127]. Eine weitere modifizierte Methode wird von *Mateev et al.* beschrieben, bei der die durchschnittliche Lappenbreite durch ihre Ellipsenform mit 5,12 cm angegeben wird und je nach Alter beziehungsweise Hautelastizität variiert [131].

Die oben genannten Rotationstechniken weisen gute funktionelle und ästhetische Resultate auf, sind gut formbar, adaptierbar und ermöglichen nach der Transplantatentnahme einen direkten Verschluss. Dennoch sollte beachtet werden, dass durch die Rotation der schmalen Radialislappen die Gefahr einer venösen Überbelastung besteht, in sensiblen Bereichen (z.B. Zunge) Fehlfunktionen auftreten können

und dass trotz Verbreiterung des Lappens eine Limitation der Defektgröße, laut *Chavre et al.* von 5 x 3 cm² im Mundraum, besteht [130, 131].

Präfabrizierte Radialislapfen, erstmalig durch *Erol* im Jahre 1976 beschrieben, haben im Vergleich zu Spalthauttransplantaten eine geringere Komplikationsrate und weniger funktionelle Einschränkungen bei einer kürzeren Heilungszeit und verbesserter Ästhetik durch eine gute Farb- und Formanpassung [137, 181]. Dennoch benötigen diese ebenfalls einen zweiten operativen Eingriff, da präoperativ eine Unterlegung der Epidermis am ventralen Unterarm erfolgt. Hierbei wird die Unterlegung mittels autologer Spalthaut von *Wolff et al.* beschrieben [136]. Um keinen weiteren Donordefekt zu erzeugen, wurden ebenso die Verwendung von azellulärer dermaler Matrix (AlloDerm) oder auch von autologer Mukosa untersucht [135, 137]. Letzteres bedarf einer hohen Präzision und Erfahrung, sobald die entnommene Mukosa angrenzend an den tumorös befallenen Bereich entnommen werden sollte. Der Vorteil dieser beiden Methoden ist, dass keine Epidermis und keine Haare mittransplantiert werden und größere Flächen mit bis zu 47 cm² versorgt werden können [135]. Trotz hoher Patientenzufriedenheit, gehen mit der Methode der Präfabrikation einige Nachteile einher, die es zu berücksichtigen gilt [137]. Es handelt sich um einen zweiphasigen Eingriff, unter Umständen einhergehend mit einer weiteren Donorstelle, hohen Kosten und möglichen Kontraktionen im Mundbereich nach Radiatio. Alle beschriebenen präfabrizierten Techniken wurden zudem bei Patienten durchgeführt, welche eine Radiatio und/oder eine Chemotherapie benötigten, sodass durch die meist zweiwöchige Dauer zwischen Vorbereitung des RFFF und dessen Entnahme überbrückt werden konnte [135, 136].

Um größere Defekte mit einem Radialislapfen decken zu können und anschließend dennoch eine geringe Entnahmemorbidität, Wundheilungsdauer und Komplikationsrate zu erzielen, wurden dahingehend weitere Untersuchungen durchgeführt und Methoden in der Literatur beschrieben. Eine Möglichkeit ist die Steigerung an lokal verfügbarer Hautquantität, die Gewebeexpansion, um nach Möglichkeit einen primären Wundverschluss oder eine Wundflächenreduktion durchzuführen. Aber auch Methoden zur Verkleinerung der Donorstelle am ventralen Unterarm mittels Nahttechnik, um etwa einen direkten Verschluss oder einen minimaleren Eingriff zu ermöglichen, wurden vorgestellt.

Die Gewebeexpansion mittels osmotisch aktiven Hydrogel-Systemen oder auch manuell befüllbaren Silikonballons, sollte hierbei einen Lösungsansatz darstellen. Nachteilig hierbei: Im- und Explantation der Expander, mehrere operative Eingriffe mit einhergehender insuffizienter Wundflächengranulation, erhöhtes Infektionsrisiko, längere Vorlaufzeit bis genug Haut generiert ist, verzögerte Tumorresektion [58-60, 182]. Ein Ansatz einige der auftretenden Nachteile von Expansionsverfahren (z.B. Silikon Ballon-Expander) wie Minderperfusion beim Befüllen, Infektionen, hohe Druckentfaltung, höhere Komplikationsraten und Expanderperforationen zu umgehen, beschreiben *Bergé et al.* Mittels osmotisch aktivem Hydrogelexpander wird eine Gewebeexpansion durchgeführt [59, 60], [140, 141]. Es können im Vergleich zu Spalthauttransplantaten bessere ästhetische und funktionelle Ergebnisse erreicht werden, dennoch sollte das Risiko von Wunddehiszenzen und Hautnekrosen, was klinische Kontrollen während dieser Zeit unabdingbar macht, beachtet werden. Bei Perforationen muss der Expander vorzeitig explantiert werden und wird daher für kleinere Wundflächen empfohlen. Eine nicht-invasive Methode der Gewebegenerierung mittels *Tapes* (DynaClose), welche für mindestens 7 Tage präoperativ am ventralen Unterarm angebracht worden sind, beschrieben *Bonaparte et al.* [138]. Zwar weisen die *Tapes* eine Verlustrate von 19,3 % auf, liegen jedoch unterhalb der in der Literatur angegebenen Komplikationsrate von 40 % und können einfach erneut angebracht werden [183, 184]. Es konnte eine Flächenreduktion um bis zu 50 % beobachtet werden, was einen primären Wundverschluss, eine geringe Lappenverlustrate und eine Reduktion der Heilungsdauer um 75 % ermöglichen kann [185]. Im Vergleich zu der alleinigen Anwendung von Spalthauttransplantaten, konnten bessere ästhetische Resultate, ein geringer Schmerzindex und reduzierte Kosten bei verkürzter Heilungszeit beobachtet

werden [138, 139]. Obwohl durch die Gewebeexpansion nicht alle Wundflächen primär verschlossen werden können, stellt dieses Verfahren eine gute Möglichkeit dar die Wundfläche möglichst zu minimieren, um ein kleineres Transplantat alio loco oder gar vom Unterarm selbst entnehmen zu können und somit das Risiko von Morbiditäten, Schmerzen und Komplikation zu reduzieren. Die prolongierte Zeit der Hautexpansion bis zum tumorchirurgischen Eingriff sollte, wenn notwendig, bei allen Expansionsverfahren für eine präoperative Radiatio genutzt werden oder gar bei onkologischen Patienten keine Verwendung finden [59, 182]. *Samis und Davidson* haben vor diesem Hintergrund noch eine intraoperative Gewebeexpansionsmethode beschrieben, welche nach 30-90 Minuten Anwendung, genug Haut für einen primären Verschluss produziert und einen zweiten Eingriff bei guter Ästhetik und Funktion umgeht. Hierbei war die Probandenzahl jedoch gering und eine verlängerte Wundheilung konnte bei 2 von 7 Patienten beobachtet werden [58].



Abb. 101: Zustand nach RFFF-Entnahme und Anbringen der Apparatur zur forcierten Gewebeexpansion (links oben). Dehnung der Haut intraoperativ (rechts oben) bis zum Verschluss nach 40 Minuten (links unten). Postoperatives Ergebnis nach 8 Wochen (rechts unten). Aus „Skin-stretching device for intraoperative primary closure of radial forearm flap donor site“, *Samis und Davidson* [58] Genehmigung erteilt.

Die Wundflächenverkleinerung mittels Nahttechniken wie dem „cross-suturing“ oder auch dem „Pursestring“-Verfahren, sind vielversprechende Methoden, welche die Deckung von großflächigen Entnahmestellen am Unterarm bis zu 264 cm² beziehungsweise 140 cm² ermöglichen, ohne dementsprechend große Transplantate entnehmen zu müssen und somit das Problem der „limited donor site skin“ zum Teil reduzieren [62, 63, 186]. Da eine Wundflächenverkleinerung um etwa 50% erreicht und ein großer Bereich der Sehne dadurch bedeckt werden kann, können geringere Komplikationsraten als bei alleiniger Versorgung mittels Spalthautlappen, aber auch zum Teil eine bessere Ästhetik sowohl an der Donor- als auch an der Akzeptorstelle erzielt werden. Hierbei merkten sowohl *Moazzam et al.* als auch *Richardson et al.* an, dass die Heilungsergebnisse nach einer Deckung mittels Spalthauttransplantaten vom Oberschenkel besser waren als nach der STSG-Transplantation vom Unterarm selbst [32, 62]. Zwar ist die Rate an Transplantatabstoßungen bei vorheriger Wundflächenverkleinerung geringer als bei der traditionellen Spalthauttransplantation und somit die Wundheilungsdauer dadurch nicht protrahiert, jedoch können keine funktionellen Unterschiede ausgemacht werden [62]. Die Reduktion der Wundfläche nach Radialislappenentnahme, kann auch in Kombination mit anderen autogenen, allogenen oder auch xenogenen Verfahren zur Deckung genutzt werden. Ziel hierbei ist es eine Reduktion an Transplantatquantität und eine Steigerung der Wundflächen- als auch der Wundversorgungsqualität zu erreichen [43, 142, 145, 151, 161].

Auch wenn ein direkter und möglichst spannungsfreier Wundverschluss nicht möglich sein sollte, wurden Verfahren der lokalen Lappenplastik beschrieben, welche angrenzend an die Entnahmestelle des Radialislappens ein Transplantat entnehmen, um diese einzeitig, schnell und ohne weitere iatrogen erzeugte Narbe zu decken. Hierbei wurden unterschiedliche Methoden beschrieben und miteinander verglichen.

In Verlängerung an die Radialislappenentnahmestelle können zum Beispiel durch spezielle Inzisionsformen halbkreisförmige oder auch ovale FTSG entnommen werden. Für insbesondere rechteckige RFFF-Entnahmestellen bietet es sich an die halbkreisförmigen FTSG weiter in dreieckförmige FTSG zu unterteilen, um diese nach einer Neuordnung möglichst präzise auf die Akzeptorfläche zu transplantieren [29, 150, 151].

Eine weitere Methode ist die der V-Y-Plastik am ventralen Unterarm, bei der ein dreieckförmiges Transplantat angrenzend an die Radialislappenentnahmestelle entfernt und weiter anterior transplantiert wird [55, 153, 154]. Der proximale Anteil kann dann daraufhin primär verschlossen werden. Eine

Modifikation dieser Technik wurde von *Giordano et al.* beschrieben, das sogenannte „*dagger-shaped* FTSG“, bei der das dreieckförmige Vollhauttransplantat in seiner Grundform dem Radialislappen angepasst wird. Somit können bis zu 8,3 % der Haut verschont bleiben, welche ansonsten keine Verwendung finden würde. Folglich konnten mit dieser Technik weniger Hautspannung und Sehnenfreilegungen bei verbesserter Ästhetik und Funktionalität erreicht werden [155].

Wie auch *Karimi et al.* in ihrer Studie beschrieben haben, ist die Kombination einer minimalen lokalen Lappenplastik mit der Anwendung anderer in der Literatur beschriebener Verfahren zur Vereinfachung und Verbesserung einer weitestgehend primären Defektdeckung ebenfalls eine gute Möglichkeit, welche im klinischen Alltag nicht vernachlässigt werden sollte [43]. Hierbei wurde zunächst ein geeignetes Wundbett durch eine Sehnenbedeckung mittels Muskelbäuchen wie durch *Fenton* und *Roberts* beschrieben, hergestellt. Anschließend erfolgte mittels Nahttechnik eine Wundflächenverkleinerung („*Pursestring*“), sodass durch Wundrandannäherung und Entnahme überschüssiger Vollhaut ein Wundverschluss ermöglicht werden konnte, ohne eine weitere Narbe zu bilden [42].

Andere Verschiebetechniken wie der „*ulnar based transposition flap*“ oder auch der „*keystone flap*“ bringen, wenn auch limitiert durch die Wundflächengröße und die Hautelastizität, ebenfalls gute Ergebnisse und sogar eine verbesserte Handgelenksexension beim UBTF im Vergleich zum nicht operierten Arm [123, 158]. Bei der Anwendung des „*keystone flaps*“ sollte jedoch ein höheres Risiko eines Kompartiment-Syndroms, aber auch die ästhetisch defizitären Ergebnisse bei dunklerer Hautfarbe berücksichtigt werden.

Auch gestielte Spalthauttransplantate sind laut *Boahene et al.* eine gute Möglichkeit der Wunddeckung, ohne eine weitere Narbe und großflächige Narben zu erzeugen. Hier ist trotz guter Ergebnisse insbesondere aufgrund der dünnen Schichtdicke der Spalthaut postoperativ eine Ruhigstellung essenziell und aufgrund des teilweise deepithelialisierten Radialislappentransplantates unter Umständen ein höheres Risiko für funktionelle Einschränkung im orofasialen Bereich zu beachten.

Allen diesen Verfahren ist gemein, dass sie zu guten funktionellen und ästhetischen Ergebnissen bei hoher Patientenzufriedenheit und geringer Komplikationsrate führen. Auch im Vergleich zu konventionellen Spalthauttransplantaten konnten *Krane et al.*, trotz erhöhter Prävalenz von Patienten mit Diabetes und größeren Wundflächen in der lokalen FTSG-Gruppe, funktionell ähnlich gute und ästhetisch bessere Resultate bei weniger partiellen Transplantatverlusten beobachten [151].

Zudem kann durch die Nahlappentechnik eine zweite Donorstelle mit einer langanhaltenden und mit Schmerzen einhergehenden Wunde vermieden werden [154]. Die Wundheilungsdauer am Unterarm betrug in der Regel 2 - 3 Wochen, außer bei *Karimi et al.* betrug die Heilung des „*local meshed FTSG*“ im Durchschnitt 4,68 Wochen, was jedoch vergleichbar mit den traditionellen Transplantationsverfahren ist [29, 43, 150, 158, 160]. Ebenso kann ein zweiter operativer Eingriff umgangen werden. Aufgrund der direkt angrenzenden Entnahmestelle und der sofortigen Transplantation, verbleibt einerseits eine einzelne Narbe am Unterarm, welche jedoch unter Umständen wie bei dem „*bilobed transposition flap*“ auch ausgedehnt sein kann [159]. Andererseits kann gemäß *Chambers et al.* die Operations- und somit auch die Anästhesiezeit verkürzt werden. Diese beiden Aspekte spielen insbesondere bei multimorbiden Patienten eine große Rolle [55].

Ein weiterer Aspekt ist die höhere Präzision, die es bei der Planung und Durchführung bedarf, was einen tendenziell höheren Zeitaufwand darstellt. Es muss vorab geklärt werden, ob eine lokale Lappenplastik aufgrund der verfügbaren Hautquantität und Hautelastizität möglich ist. Des Weiteren muss die benötigte Transplantatgröße gemäß der Wundfläche nach Radialislappentnahme genau kalkuliert werden, um nach einer Neuordnung der entnommenen Transplantate oder auch nach der Verschiebung der Transplantate keinen Mangel zu haben, was zu einem insuffizienten und instabilen Verschluss führen kann [29, 150, 156]. Bei der Lappenhebung und der anschließenden Entfettung bei Vollhauttransplantaten, muss ebenfalls vorsichtig präpariert werden, um das hohe Risiko einer

Nervschädigung zu minimieren, da ansonsten Sensibilitätsstörungen auftreten können [55]. Es konnten einige Komplikationen und sensorische Störungen beschrieben werden, jedoch keine schwerwiegenden funktionellen Einschränkungen [151, 152].

Der größte limitierende Faktor für die Nahlappenplastik, ist das Problem der „*limited donor site skin*“, sodass nur kleine bis mittelgroße Radialislappentnahmestellen hiermit versorgt werden können. Maximale Wundflächen von etwa 8 x 4 cm², 8 x 6 cm², 8 x 8 cm² werden in der Literatur angegeben [29, 55, 124, 155, 159]. Laut *Sánchez et al.* können mit ihrem Verfahren Defekte bis zu 70 - 80 cm² gedeckt werden, wobei die durchschnittliche Wundfläche in ihrer Studie circa 25 cm² betrug [150].

Zur Vermeidung erhöhter Spannung mit einhergehenden Funktionseinschränkungen sind zudem je nach Technik einige Rahmenbedingungen hinsichtlich der Ausdehnung bei der Radialislappengestaltung zu beachten [153] (Breite des Radialislappens darf nicht die Hälfte des Handgelenkumfanges überschreiten und das dreieckförmige Vollhauttransplantat sollte doppelt so lang wie das Radialislappentransplantat sein).

Verfahren zur Lösung des Problems der „*limited donor site skin*“ und Verbesserung der ästhetischen und funktionellen Resultate bei minimalinvasiverem Eingriff sollen die artifiziell erzeugten Transplantate bringen. Hierbei gibt es allogene, alloplastische und xenogene Transplantate, welche einzeln, in Kombination mit anderen Fremdtransplantaten oder auch mit Epidermis-, Spalt- oder auch Vollhauttransplantaten Anwendung finden können. Diese Kompositstechniken werden wiederum als einzeitige oder auch als zweizeitige Eingriffstechniken beschrieben. Zwar wird bei der Anwendung von Fremdtransplantaten und von autogener Haut eine zweite Donorstelle nicht vermieden, jedoch kann ein gutes Wundbett mit entsprechender Schichtdicke und direktem Schutz beziehungsweise Gewährleistung der Gleitfähigkeit der Sehne und Reduzierung der Nervschädigung erreicht werden [187]. Außerdem wird ein geringeres autologes Transplantatvolumen benötigt. Vergleichsstudien konnten bei der einzeitigen Kompositstechnik im Vergleich zu der alleinigen Verwendung von STSG eine höhere Patientenzufriedenheit, ein besseres ästhetisches und funktionelles Ergebnis bei ähnlich langer Wundheilungsdauer erreichen [104, 147]. Zudem konnten *Wester et al.* zeigen, dass nach der Anwendung von AlloDerm mit Spalthaut im Falle eines potenziellen Transplantatverlustes im Gegensatz zu einer alleinigen Anwendung von Spalthaut, keine weitere Spalthauttransplantation notwendig ist. Es erfolgt nämlich eine sekundäre Heilung [147]. Die alleinige Anwendung eines AlloDerms, folglich ohne Transplantation von Epidermis, kann zwar eine weitere Donorstelle umgehen, geht jedoch einher mit einer elongierten Wundheilungsdauer (2 - 3 Monate) bei nur moderatem kosmetischen Ergebnis und ist postoperativ sehr kontroll- und zeitintensiv [100, 179]. Somit kann festgehalten werden, dass sowohl die einzeitige als auch die zweizeitige Anwendung einer azellulären dermalen Matrix mit einer Spalthaut hinsichtlich Funktion, Ästhetik und Heilung bessere Resultate mit sich bringt [104, 143]. Der Vergleich von einzeitigen allogenen, xenogenen und autogenen (nur STSG) Transplantationsverfahren in einer Studie von *Lee et al.* zeigte die besten Ergebnisse hinsichtlich Farbanpassung, Hautelastizität in der Gruppe der xenogenen Kompositstechnik (Bovine dermale Matrix) mit STSG, gefolgt von der Gruppe der allogenen Kompositstechnik (*Cadaveric* dermale Matrix) mit STSG, welche den geringsten transepidermalen Wasserverlust aufzeigt, obgleich alle drei Gruppen eine geringe Hautfeuchtigkeit aufwiesen [105]. Die alleinige Anwendung von xenogenen Transplantaten wie dem Integra (Integra LifeSciences, Plainsboro, NJ) oder auch dem Rapiderm (Dalim Tissen Medical Co., Seoul, Korea), führten laut *Duteille et al.* und *Byun et al.* zu guten Ergebnissen bei einer Heilungsdauer von durchschnittlich 4,8 Wochen (bzw. 4 - 6 Wochen), wobei *Murray et al.* bei den Patienten, welche aufgrund ihres Allgemeinzustandes keinen 2. operativen Eingriff zur Spalthauttransplantation erfahren haben, eine erhöhte hypertrophe Narbenbildung beobachtete [101, 144, 146]. Jene Patienten, die allerdings anschließend an die xenogene Transplantatinsertion (Integra oder Terudermis) in einem zweiten Eingriff eine Spalthauttransplantation erhalten haben, wiesen eine

Ästhetik ähnlich einem Vollhauttransplantat (auch bei großen Wundflächen) auf und waren auch in funktioneller Hinsicht überlegen [145]. Dennoch merkten sie an, dass dieser Eingriff mit hohen Kosten, einem zweiten Eingriff mit erneuter Wundfläche und laut *Murray et al.* einer langen Heilungsdauer (8 - 16 Wochen bei Wundflächen von durchschnittlich $109,3 \text{ cm}^2 \pm 59,1 \text{ cm}^2$) einhergeht. Durch die V.A.C.-Applikation oder auch durch eine Wundflächenverkleinerung konnte die Wundheilung beschleunigt werden (3 - 4 Wochen - hierbei wurden jedoch keine durchschnittlich behandelten Wundflächen angegeben) [143, 144]. Die einzeitige Insertion von einem Xenograft (MatriDerm) mit einem Spalthauttransplantat wurde ebenso in der Literatur untersucht und auch mit traditionellen Vollhauttransplantaten verglichen, obgleich die Probandengruppe quantitativ differierte. Hierbei konnten ebenfalls überlegene ästhetische und funktionelle Ergebnisse beschrieben werden [72, 102]. Zur Umgehung einer weiteren Donorstelle mit längerem Heilungsverlauf und eines erneuten Eingriffs, bei dennoch dicker Transplantatstärke, haben *Park et al.* die einzeitige Anwendung zweier Xenografts (MatriDerm und Terudermis) untersucht [106]. Trotz der genannten Vorteile werden hier ebenfalls wie in den meisten anderen Literaturquellen die lange Heilungsdauer und die hohen Kosten hervorgehoben. Zudem liegt ein hoher Aufwand in der Herstellung von Fremdtransplantaten mit der Notwendigkeit bestimmter Laboratorien, aber auch unter Umständen einer erhöhten Anforderung an dessen Lagerung (z.B. Amniotische Membran bei -80°C) vor [142]. Die Allo- und Xenografts haben trotz guter Resultate ein erhöhtes Risiko mit Immunreaktionen und somit Abstoßungsreaktionen einherzugehen, wobei *Rowe et al.* bisher keine Erfahrung in dieser Hinsicht angeben konnten [104]. Die Gewebezüchtung mittels autologem Gewebe, stellt eine sehr gute Methode dar, welche jedoch spezieller Laboratorien bedarf und sehr hohe Kosten mit sich bringt. Einige Autoren sind andererseits der Meinung, dass Verfahren wie das des *Tissue engineering*, Allografts/ Xenografts zwar eine schnelle, jedoch nur eine vorübergehende und unzuverlässige Deckung bieten [83].

Um das zu Beginn genannte Problem der Entnahmemorbidity anzugehen und eine Verbesserung in der Wundheilung zu erzielen, wurden weitere Verfahren bezogen auf Wundbettpräparation, Lappenhebung und Wundheilung untersucht.

Die 1995 auf dem Markt eingeführte Methode des *Vacuum assisted closure* (Kinetic Concepts Inc.; San Antonio, Texas) dient nachweislich der Förderung der Wundheilung, um vor allem eine der häufigsten Komplikationen (33 %), die Sehnenfreilegung, zu vermeiden [121]. Ursprünglich diente sie der Behandlung von chronischen und schlecht heilenden Wunden. Durch den applizierten negativen Druck über der Wunde, wird der Blutfluss gesteigert, der Sekretabfluss gewährleistet, Ödeme verhindert, die Bakterienzahl gesenkt, die Produktion von Granulationsgewebe gesteigert und neben eines Wunddebridements eine Adaptation der Wundränder gefördert [73, 188]. All diese Faktoren führen zu einer Förderung eines gut granulierten Wundbettes und somit einer besseren Transplantatadhäsion. Jedoch muss wie auch in einem unserer Patientenfälle stets auf eine korrekte Durchführung ohne Unterbrechung geachtet werden, da es sonst zu einer Sekretansammlung kommt und somit für ein feuchtes, schlecht granuliertes Wundbett sorgt.

Autoren wie *Cai et al.*, welche therapieresistente Wunden bei multimorbiden Patienten mithilfe des Cellutome-Systems untersuchten, gaben an in vielen Fällen postoperativ im Sinne einer „*Negative pressure wound therapy*“ über 1 Woche eine V.A.C.-Therapie durchgeführt zu haben. Ziel hierbei war es, insbesondere bei Wundflächen, welche nur insuffizient mit einem Kompressionsverband versorgt werden konnten, bei der Wundheilung zu unterstützen und trocken zu halten [83]. Hierbei wurde ein positiver Effekt bezogen auf die Einheilungsmodalitäten beschrieben. Insbesondere ab einer Applikationszeit von 6 Tagen und mehr, nach vorheriger Bedeckung der Sehne, beschreiben *Andrews et al.*, eine deutliche Verbesserung der Heilung [53]. Die Wunden am ventralen Unterarm bei unseren Probanden, welche eine vorangegangene V.A.C.-Therapie erhielten, waren komplikationsarm und zeigten eine tendenziell bessere Förderung der Wundheilung als bei denen ohne spezielle

Wundbettvorbereitung (ohne vorangegangene V.A.C.-Therapie: 0,26 cm²/Tag und mit V.A.C.-Therapie: 0,35 cm²/Tag; s. Tab. 3, 4 und 5), wobei jedoch durch den T-Test keine statistische Signifikanz an dieser Stelle benannt werden kann.

Die V.A.C.-Applikation konnte in den meisten Studien sowohl bei der Anwendung von Epidermis-, Spalthaut-, Vollhaut- oder auch Fremdtransplantaten, zu einer gesteigerten Handgelenksmobilität, schnelleren Wundheilung mit weniger Infektionen und Schmerzen, tendenziell besserer Ästhetik ohne tiefe Druckstellen durch einen Kompressionsverband und bis zu 10 % weniger Transplantatverluste führen [47, 51, 149]. Einige Autoren hatten jedoch insbesondere nach einem längeren Kontrollintervall trotz der positiven Effekte oftmals keine statistische Relevanz mehr konstatieren können [52, 148]. Dies ist auch die Ursache dafür, dass in der Literatur die postoperative Anwendung der V.A.C.-Apparatur aufgrund der damit einhergehenden Kosten, dem erhöhten Risiko bei unsachgemäßer Adaptation auch aufgrund anatomischer Gegebenheiten, der verlängerten Dauer des stationären Aufenthaltes bei protrahierter Immobilisation und erhöhter Compliance bei statistisch nicht signifikanten Vorteilen oftmals als limitiert beschrieben wird [48]. Insbesondere für Patienten, welche ein höheres Risiko für Wundheilungsstörungen besitzen, kann diese Wundnachsorge empfohlen werden [149]. Um die Kosten und den stationären Aufenthalt zu senken, fanden auch portable Unterdrucksysteme (-80 mmHg) Anwendung und konnten gute Wundheilungsergebnisse und Funktionalität mit sich bringen [46, 52].

Ebenso wird in der Literatur die Anwendung differierender Möglichkeiten der Lappenhebung kontrovers diskutiert und als potenzieller Grund für die erhöhte Entnahmemorbidität bezeichnet. Die Lappenhebung wird grundsätzlich in zwei Varianten eingeteilt. Man unterscheidet die von *Chang et al.* 1996 beschriebene suprafaziale von der subfazialen Hebung [38].

Schwarzer et al. stellten nur leichte Vorteile bei der suprafazialen Lappenhebung und der anschließenden Versorgung mit einem Vollhauttransplantat aus der Leiste hinsichtlich Schrumpfung, Komplikationen und Schmerzen fest. Diese Vorteile waren jedoch, bei ähnlich guter Ästhetik und Patientenzufriedenheit, statistisch nicht signifikant [19]. *Selvaggi et al.* konnten ebenfalls keine Unterschiede konstatieren. Wohingegen viele Autoren, unter anderem Autoren wie *Lutz et al.*, *Chang et al.* in ihren Studien bessere Ergebnisse bezüglich der Morbiditätsrate erreichen konnten. Dies führten sie zurück auf die Schonung der Nervenfasern, der tiefen Faszie und der Bedeckung der subfaszial lokalisierten Muskulatur und Sehnen [37]. Zwar sei laut *Avery et al.* die suprafaziale anspruchsvoller, aber wie auch *Lutz et al.* beschreiben konnten, eine geringere Morbiditätsrate, weniger Verzögerungen in der Wundheilung (4% bzw. 5% im Vergleich 28% bzw. 22% bei subfazialen Lappenhebungen), weniger Sehnenfreilegungen (3% bzw. 0% im Vergleich zu 28% bzw. 13%) als die in anderen Studien beschriebenen Ergebnisse nach subfazialer Lappenhebung, auf [31, 32, 37, 50]. Demnach können durch Belassen der Fascia antebrachii bei der suprafazialen Lappenhebung, Probleme wie die der Sehnenadhäsion, Mobilitätseinschränkungen, Sensibilitätsstörungen reduziert werden und somit durch Erhalt eines gut vaskularisierten und qualitativ hochwertigen Wundbettes das Risiko einer Transplantatabstoßung reduziert werden [30, 37, 38, 170]. Es werden hierbei durchschnittliche Wundheilungszeiten von 2 Wochen bis hin zu 3 - 4 Wochen angegeben [37, 162]. Andere Studien beschreiben verlängerte Heilungszeiten von 6 Wochen oder mehr, insbesondere bei der subfazialen Lappenhebung oder auch bei Auftreten von Komplikationen [31, 166]. 17% - 29% der Patienten sind gemäß *Boorman et al.* und *Swanson et al.* nach einer fasziokutanen Radialislappenentnahme unzufrieden mit dem ästhetischen Resultat [121, 189]. In einer Studie von *Chau et al.* wurden STSG und „meshed“ STSG jeweils nach sub- als auch suprafazialer Lappenhebung untersucht. Hierbei konnten die besten funktionellen und ästhetischen Ergebnisse ohne Sehnenfreilegungen in der Gruppe der STSG und suprafazialen Transplantatentnahme beobachtet werden. Die meisten Sehnenfreilegungen, die geringste Heilungsrate bei insuffizienter Ästhetik lag in der Gruppe „meshed“ STSG und subfaziale Lappenhebung vor. Funktionell wiesen die Gruppen jedoch keine signifikanten Unterschiede auf [39].

Andere Autoren können diese Ergebnisse mit ihren Studien ebenfalls untermalen. So fanden *Shonka et al.* bei der subfaszialen Entnahme mehr Sehnenfreilegungen und Hämatome. Trotzdes laut *Avery* erhöhten Anspruches der suprafaszialen Lappenentnahme, konnte keine verlängerte Operationszeit (hingegen etwas verkürzt) festgestellt werden [36]. Hinzuzufügen ist zudem, dass *Timmons et al.* im Rahmen anatomischer Studien zeigen konnten, dass die Faszie für die Perfusion des Radialislappens keine weitere Rolle spielt und somit ebenso als Bedeckung der darunterliegenden Strukturen am ventralen Unterarm belassen werden kann [30, 35].

Eine weitere Möglichkeit der Lappenhebung zur Reduktion der Entnahmemorbidität und somit einhergehendem verbesserten Resultat stellten *Van Kouwenberg et al.* im Rahmen einer retrospektiven Kohortenstudie vor. Sie beschreiben hierbei eine endoskopisch unterstützte Lappenhebung (ERFFF) und vergleichen diese mit der nicht-unterstützten Radialislappenentnahme. Es konnten bei gleicher Operationszeit, weniger invasivem Eingriff unter besonderer Beachtung der Venae comitantes weniger Wundheilungsstörungen, Perfusionsstörungen in der Gruppe der endoskopisch unterstützten Lappenentnahme, festgestellt werden, wobei keine statische Signifikanz angegeben werden konnte. Gemäß Patientenbefragung konnte ebenfalls eine gute Ästhetik und Funktion erreicht werden [190].

Zudem stellen die freiliegenden Sehnen (*flexor carpi radialis tendon*) ein unvorteilhaftes Transplantatbett dar, welches zu Sehnenfreilegungen, Sehnenadhäsion, funktionellen und ästhetischen Defiziten, Vernarbungen, verzögerter oder gar nicht erfolgreicher Transplantation führen kann [29]. Dieses Problem des schlecht vaskularisierten Wundbettes stellt, jedoch für alle Transplantatformen eine Herausforderung dar, wobei durch die dünne Hautschicht bei den Epidermistransplantaten und die Gefäßmitführung bei den Vollhauttransplantaten eine geringere Gefahr ausgeht. Eine Möglichkeit ein geeignetes Wundbett herzustellen, ist die von *Fenton* und *Roberts* beschriebene Bedeckung der Sehne (*flexor carpi radialis*) durch das Vernähen der Muskelbäuche des *flexor pollicis longus* und des *flexor digitorum superficialis*. Hierbei entsteht ein gepolstertes, gut vaskularisiertes und weniger mobiles Wundbett, was die Einheilung von Hauttransplantaten verbessern kann [42, 43, 72, 160].

Die weiter unten aufgeführte Tabelle 10 soll abschließend einen Überblick über die Ergebnisse der erfolgten systematischen Literaturrecherche, aber auch der Daten aus der hier erfolgten klinischen prospektiven Studie zur Anwendung des Cellutome-Systems bieten. Ziel hierbei ist es die Vor- und Nachteile einzelner Subgruppen, die Eckdaten zu den inkludierten Studien, aber auch die Konklusion bezüglich Einsatzgebiet und Einschränkungen zusammenzufassen. Im Anhang ist des Weiteren eine detaillierte Zusammenfassung in Form von Tabellen (in Subgruppen kategorisiert) zu den einzelnen inkludierten Artikeln zu finden. Diese sollen bei Bedarf eine Gegenüberstellung einzelner Ergebnisse aus den Studien vereinfachen.

Hierbei gilt es zu betonen, dass all diese Ergebnisse und Beschreibungen auf den Daten und Aussagen der jeweiligen Autoren basieren.

Subgruppen	Anzahl inkludierter Artikel/ Studien	Anzahl Probanden für angewandte Methode bei „Follow-up“ (n)	Wundfläche	Heilungszeit	Vorteile	Nachteile	Ergebnisse
Primäre Wundflächen-deckung	12	264 Patienten (11-112 Patienten)	Durchschnittliche Angaben (7 von 12 Artikeln): 40,37 cm ² (10,8 cm ² -93,24 cm ²)	Ca. 3-4 Wochen	-gleiche Hautqualität/Farbe -schnell/einfach -keine zusätzliche Belastung des Pat., komplikationsarm -1 OP/1 Wundfläche	-limitierte RFFF-Größe (durch Hautelastizität, Hautzustand in der Umgebung, Alter, Geschlecht bestimmt) -sonst kein spannungsfreier Verschluss möglich	-Methode der Wahl bei kleineren Wundflächen bei sehr guter Ästh./Funkt. -Modifizierte, schmale RFFF: sehr gute Funkt./Ästh., jedoch höhere Präzision bei Vorbereitung des Lappens und potenzielle Gefahr einer verösen Überbelastung -Präfabrizierte Lappen: Versorgung größerer Wundflächen, sehr gute Ästh./Funkt., z.T. lose RFFF-Transplantation, aber 2. operativer Eingriff → Belastung, Aufwand und Kosten!, verzögerte RFFF-Transplantation
Gewebe-expansion	2	93,5 Patienten (10-177 Patienten)	Durchschnittliche Angaben (2 von 2 Artikeln): 31,45 cm ² (24 cm ² -38,9 cm ²) Reduktion der ursprünglichen Wundfläche mittels Expansionstechniken um ± ca. 50%	Ca. 1-2 Wochen Bis zu 75% verkürzte Wundheilungsdauer	-Hautqualität! →Wundfläche/Wundverschluss → kleineres Transplantat benötigt →Einschnittstelle (intra- oder extra-site) → Schmerzen, Infektionen, Donorstellenmorbidity, Spontanzug, Rezidivquote!, funkt. Einschränkung!, →bessere Ästh./Funkt. STSG (Hydrogel-Expander/Tapes) → geringe Donorstellenmorbidity	-Kosten!, Belastung!, 2. OP (v.a. invasive Gewebeexpansion) -potenzielle sek. Hautschmumpfung -Zeitverzögerung bis zum Eingriff (invasiv: 2 Wochen bis OP, non-invasiv: 1-2 Wochen) -Komplikationen mit Expansoren (invasiv: 40%, non-invasiv: Verlust der Tapes 19,3%) -Mikrozirkulation!	-sehr gute Möglichkeit zur Steigerung der Hautqualität (bis zu 50%) für möglichst primäre Defektdeckung (bei kleineren Wundflächen) oder Reduktion der Größe des benötigten Hauttransplantates -jedoch elongierte Vordauer bis zum Eingriff (Indikation bei Pat. mit Bedarf an präoperativer Radio-sonst bei akutem Handlungsbedarf keine Anwendung) Invasive Verfahren: Weitere OP, Komplikationsrate! (40%) – (Infektionen, Druckentfaltung!, Expander-perforationen) → Lösung, osmotisch aktiver Hydrogel-Expander (Schmerzen!, Ästhetik!, Rate an genu. Verschluss!, danach Gefühl von Wundheilungs- / Hautkrisen-daher nur für kleinere Wundflächen empfohlen) UND carve bei Zwischenfällen keine Regulierung der Füllmenge, sondern nur Explantation möglich! Non-invasive Verfahren: -Einfach, kostengünstig, schnelle (75%) / sichere Wundheilung, geringe Lappenverluste, Schmerz! um 40%, keine invasive Expansion bzw. weitere OP, Fläche, um bis zu 50%, eingeschränkte Effektivität bei straffer Haut
Wundflächen-reduktion	2	38,5 Patienten (10-67 Patienten)	Bis zu 264 cm ² möglich („Cross-zurichtung“) Bis zu 140 cm ² möglich („Pars-zurichtung“) Reduktion der ursprünglichen Wundfläche mittels Nähtechniken um ± ca. 50%	Keine Angaben	-Wundfläche! / Wundverschluss (nur bedingt ohne weitere Transplantate) →Transplantatgröße! für großflächige RFFF-Donorstelle →Entnahmestelle! (intra- oder extra-site), Narbengröße! (63%) →Komplikationen!, Deckung großer Areale der freiliegenden Sehne (Sehnenadhäsionen!), Transplantatabschöpfung! (9%), Schmerzen!, Infektionen!, Heilungsdauer! (Funktion ähnlich Standardverfahren allein) -schnelle/einfache Methode	- Leicht eingeschränkte Anwendung des „Pars-zurichtung“-Verfahrens (≠ „Cross-zurichtung“): Wundflächen sollten zirkuläre oder elliptische Form haben Sonst keine Nachteile bekannt	-sehr gute, unkomplizierte, schnelle (ohne Zeitverzögerung bis zum operativen Eingriff) Möglichkeit der primären Wundflächenvorbereitung mit weitestgehender Abdeckung der Sehne und Reduktion der Wundfläche (bis zu 53%) →Reduktion der Größe des benötigten Hauttransplantates (meist jedoch kein primärer Verschluss möglich) -meist ohne weitere Einschränkungen anwendbar →auch in Kombination mit unterschiedlichen Transplantationsverfahren und bei großflächigen Wundarealen untersucht →Pars-zurichtung (bei zirkulären/elliptischen Wundformen) →gute Ästhetik an Donor- und Akzeptorstelle (kleinere Narben)
Allogene, xenogene, alloplastische Transplantate	13	28 Patienten (10-80 Patienten)	Durchschnittliche Angaben (7 von 13 Artikeln): 58,75 cm ² (31 cm ² -115,4 cm ²) Weitere Angaben: 27,75 cm ² + 3,08 cm ² 109,3 cm ² + 59,1 cm ² 189 cm ² + 6,75 cm ²	Ca. 1-3 Monate (Alloderm: 2-3 Mon., Xenogene Transplantate: 4-6 Wochen, amnionische Membran: 62,5 = 9,3 Tage)	- Kompositransplantate (mit STSG): Größe STSG!, Funkt./Ästh. ähnlich FTSG (besser als nur STSG), Komplikationen an Donorstelle!, gute Sehnenheilbewegung, Patientenzufriedenheit!, einzeitige Verfahren: keine 2. OP, nach pot. Transplantatverlust kein weiteres STSG- oder sekundäre Heilung →Xenogen-STSG Farbanpassung!, Hautelastizität!, einzeitig möglich →Allogen-STSG: transpödemaler Wasserverlust!, einzeitig möglich -Alloderm allein, xenogenes Transplantat allein/2 Xenografs: keine 2. Narbe/OP, gute Ergebnisse (Xenograff) -schnelle Verfügbarkeit	-Kosten! -zweizeitig, 2. OP -lange Heilungsdauer → kontroll- und pflegeintensiv -Kompositransplantate (mit STSG): 2. Narbe, meist 2. OP -Kompositransplantate (mit anderen nicht autologen Transpl.): Kosten!, Heilung!, Anforderung an Herstellung (bestimmte Laboratorien) und spezielle Lagerung u.U. (amnionische Membran) -Ästh. u.U. mäßig (z.B. Alloderm allein, xenogenes Transplantat allein/2 Xenografs u.U. mit hypertropher Narbe)	- Schnelle Verfügbarkeit und gute Ergebnisse (Ästh./Funkt.!) -ähnlich FTSG), Polsterung des Wundbettes (Schichtdicke!), Schmerz/Gleitfähigkeit der Sehne, Entfall weiterer Wundbettparapartien (Sehnen, Muskulatur), Risiko Nervschädigung!, in Kombi mit STSG (weniger dünneres STSG für ggf. größere Wundflächen, Komplikationen!, sek. Heilung möglich bei Transplantatverlust, Zufriedenheit!) (einzeitige Technik) -einzeitig/zweizeitig → jedoch mit hohen Kosten (spez. Laboratorien/u.U. spez. Lagerung), lange Heilungsdauer (zeit- und pflegeintensiv: 8-16 Wochen), u.U. 2. OP! u.U. weitere Wundfläche (wenn Kombi mit STSG), Frage der Immunogenität → Beschleunigung durch V.A.C./Wundflächenverkleinerung möglich

V.A.C.-assistierte Wundverschluss	7	34 Patienten (10-83 Patienten)	Durchschnittliche Angaben (5 von 7 Artikeln): 57,66 cm ² (43,1 cm ² -72,9 cm ²)	Keine Angaben	-Perfusion/ Wundheilungsgranulation, Durchblutung, Infektionen, Schmerzen, Sehnenfreilegung, Bakterien, Ödeme, Komplikationen, Transplantatverlust bis zu 10%. Wundheilung/Fleckenreduktion schneller -Handgelenkmobilität (jedoch ohne stat. Sign.) -Innertast im Vgl. zum konventionellen Druckverband keine tiefe Abdrücke	-hohe Kosten (5x höher) -Anpassung kontroll- und zeitenintensiv -längere Zeit der Immobilisation → Applikation mind. 6 Tage empfohlen (stationärer Aufenthalt), sonst erhöhte Tendenz zur Sehnenfreilegung	-Anwendung bei Patienten mit erhöhtem Risiko für Wundheilungsstörungen -Vorteile: → positive Effekte auf Wundheilung, jedoch keine stat. Signifikanz - V.A.C.-Applikation für mind. 6 Tage → sonst Gefahr part. freilegender Sehnen + Wundheilungsdauer? -höhere Anschaffungskosten, Dauer der Immobilisation/stationärer Aufenthalt 1-2 Wochen, regelmäßige Kontrolle der richtigen Applikation notwendig → Mim-V.A.C. als portable, kostengünstigere und ambulant anwendbare Apparatur evtl. als Alternative (jedoch ohne stat. Signifikanz)
Nahlapplastik	14	33,5 Patienten (10-100 Patienten)	Durchschnittliche Angaben (von 14 Artikeln): 40,01 cm ² (24,5 cm ² -60,2 cm ²) Weitere Angaben: Bis zu 80 cm ²	Ca. 2-3 Wochen	- Pat. Zufriedenheit ↑ (Schmerz/Ästh./Funkt.) - keine 2. OP (einzig) keine 2. Wunde/Narbe - Komplikationsrate, Wundheilungsstörungen (stat. nicht sign.), Wundschmerz, Wundheilungsdauer, Ästhetik (Farb- und Formanpassung), Versteife FTSG, gute Funktion - „doggy-chapel“ Technik (Gordano et al.: 8,3% Einsparnis an lokalem Transplantat (Defekte bis 50cm ²) mit sehr guten ästh./ästh. Ergebnissen)	-limitierte Wundflächengröße → limitierte Donorhaut am Unterarm → abhängig von Haarlinie/Alter/Geschlecht - erhöhte Präzision (Zeitpunkt) bei der Planung und Durchführung notwendig → sonst keine suffiziente spannungs- freie Wunddeckung gewährleistet - Präparation (Entfetten) der FTSG bedarf hoher Präzision → sonst Sens.störung	-Methode der Wahl bei kleinen bis mittelgroßen Wundflächen (je nach Verfahren bis zu maximal 80 cm ²) - hohe Patientenzufriedenheit - begrenzte Anwendung durch Hautqualität / Haarlinie - in Kombination mit Nähntechnik zur Wundflächenverkleinerung und/oder Sehnenbedeckung mit umliegenden Muskelbäuchen: sehr gute Resultate - durch verkürzte Anästhesie- und OP-Dauer auch gut bei multiaxialen Patienten geeignet - Je nach Nählschnitttechnik Eigenschaften zu beachten, z.B.: - „Keyhole flap“ nicht bei dunklerer Hautfarbe + höheres Risiko für Kompartiment-Syndrom + primär starkes Spannungsgefühl der Haut (gute Resultate mit kurzer Heilung, wenig Komplikation) - „Blebed flap“ zwar bis zu 64 cm ² , jedoch aufwändig und lange Narbe - „deepthelotomies RFFF“ keine Haare im Mund, unauffällig am Unterarm, jedoch Schwierigkeit Dermat.-Applikation + Gefahr Minderperfusion dünner STSG
Freie Eigenhauttransplantate (FTSG/STSG)	21	40,8 Patienten (11-125 Patienten)	Durchschnittliche Angaben (9 von 21 Artikeln): 59,73 cm ² (24 cm ² -98,3 cm ²) Weitere Angaben: Bis zu 228 cm ²	Ca. 4 Wochen (2-6 Wochen)	FTSG: - Unterarm: Ästhetik/ Farbpassung - Donorstellen- morbidität/Heilungsdauer (prim. Wundverschluss nach Transplantatentnahme), Komplikationsrate - Oberarm: Umgehung wichtiger anatomischer Strukturen, Farbe (z.B. Abdomen), kurze OP-Zeit, Hautelastizität, unauffälliger Bereich - Letzte: Entnahme größerer Transplantate, Narbe unauffällig - Bauch: Hautelastizität STSG: - Entnahme (Dermatom) einfach/gleichmäßig - Deckung größerer Flächen (insbesondere in Kontakt mit suprafaszieller Lappenhebung, Komplikationen, Wundheilung)	FTSG: - Donorstelle limitiert - Transplantatgröße limitiert (möglichst prim. Verschluss nach Entnahme → u.U. STSG für Deckung nötig) - gleichmäßige Entnahme erschwert - Wundheilungsdauer, Verbandswechsel, Schumpfungseignung (stat. nicht sign.) - Oberarm: längere Immobilisation empf. Letzte: Ästhetik, Wunddepression Unterarm, Hypästhesie, längere Immobilisation empf. Bauch: sichtbare Narbe, Dyspigmentierungen STSG: - Donorstelle: Komplikationen, Schmerzen, Juckreiz, Wundheilungsdauer - Belastung Pat. ↑ - Farbpassung, mäßige Ästhetik - Risiko Sehnenfreilegung, Transplantatabschabung	- z.Z. Standardverfahren, wenn direkter Verschluss lokale Lappentechnik nicht möglich (trotz einiger Nachteile) - Vorteile bei Kombination mit Wundflächenverkleinerung mittels Nähntechnik und Bedeckung der Sehne durch Muskelbäuche - Vorteile bei Kombination mit suprafaszieller Lappenhebung (hinsichtlich Schmerzen, Komplikationen, Schumpfung, Wundheilung/Dauer) → leicht erhöhte Präzision bei Präparation benötigt → stat. Signifikanz fraglich - Kosten/Aufwand, 2 OP/2 Narbe, Donorstellenmorbidität, limitierte Donorstellenverfügbarkeit (→ nach pot. Transplantat- abstellung weiteres Transplantat benötigt, da insuffiziente sek. Heilung = Komposit- transplantat mit Allo/Xenogenen Transp.) - FTSG: Ästhetik/Pat. zufriedenheit, geringere Komplikationsrate an Donor- und Akzeptorstelle → jedoch limitierte Wundfläche, erhöhter Aufwand bei gleichmäßiger Transplantatentnahme, höhere Schumpfungseignung, u.U. 2. Narkose STSG: Leichtere Entnahme, größere Wundflächen (auch als „mesh-grafts“ zu vergrößern, jedoch bessere Ergebnisse bei suprafaszieller Lappenhebung und „sheet“ STSG) → jedoch höheres Risiko für Transplantat- abschabung/Sehnenfreilegung, Komplikationen an Entnahmestelle, mäßige Ästhetik am Unterarm, u.U. 2. Narkose
Automatisierte Epidemiale Hauttransplantation (CelluTome)	1	10 Patienten	17,7 cm ² (6,72 cm ² -32,0 cm ²)	72,4 Tage (21-101 Tage) Donorstelle: 23 Tage (7-28 Tage)	- keine sek. Narbe/ keine 2. OP, Belastung - mehrmalige Hautentnahme ambulant, einfach systematisiert, schmerzfrei, kostengünstig, komplikationsfrei möglich - schnelle Heilung an Donorstelle - schnelle Verfügbarkeit - Immunogenität (autolog)	- leichte ästh. Defizite an Akzeptorstelle - längere Wundheilungsdauer mit regelmäßigen Verbandswechseln an Akzeptorstelle (Compliance)	- sehr gute Methode bei multiaxialen Patienten, therapieresistenten Wunden, schnellem Handlungsbedarf - im Vgl. zu allogenen/xenogenen/alloplastisch: kostengünstig, autolog, unkomplizierte Gewinnung/Lagerung, keine 2. OP/2 Narbe (zweizeitige Verfahren Kompositstechnik) → jedoch ebenfalls elongierte Wundheilung - hohe Pat. zufriedenheit - weitere Studien zu großflächigen RFFF-Entnahmestellen ausstehend

Tabelle 10: Zusammenfassung systematische Literaturrecherche. Überblick über erfolgt Subgruppenanalyse mit Vor- und Nachteilen und dem daraus resultierenden Fazit bzw. Anwendungsindikation.

Schlussfolgerung

Basierend auf den oben genannten Ergebnissen aus der hier vorliegenden systematischen Literaturrecherche, lässt sich sagen, dass der direkte Wundverschluss oder auch lokale Lappentechniken die Mittel der Wahl darstellen. Diese gehen weitestgehend mit sehr guten funktionellen und ästhetischen Ergebnissen im Vergleich zu den Standardverfahren einher. Sie sind zudem meist einzeitig durchführbar und hinterlassen keine weitere iatrogen erzeugte Donorstelle, da die Haut aus der angrenzenden Region (gleiche Hauteigenschaften) entnommen wird. Die Anwendung ist je nach Radialislappengröße und Hautelastizität limitiert, da eine erhöhte Spannung beim Verschluss zu einer insuffizienten Wundheilung und Funktion führt.

Einen Lösungsansatz soll hierbei die Gewebeexpansion bieten. Oftmals können diese die Indikation eines kleineren Transplantates herbeiführen, wobei dennoch unter Umständen eine weitere iatrogen erzeugte Wundfläche nicht umgangen werden kann. Zudem können längere Zeiten bis zum Eingriff, Komplikationen und Kosten hiermit einhergehen [59]. Im Falle von adjuvanten Radio-/Chemotherapien kann der Einsatz - insbesondere nicht-invasiver *Tapes* - gemäß unserer Recherche angedacht werden. Insbesondere die Wundflächenverkleinerung mittels Nahttechniken sollte jedoch bei Bedarf durchaus in Betracht gezogen werden, da diese eine gute Möglichkeit bietet bei geringem Aufwand einen direkten Verschluss oder etwa weniger Transplantatbedarf zu ermöglichen.

Mithilfe unserer Studie konnten wir herausfinden, dass das Verfahren der automatisierten epidermalen Hauttransplantation mit Hilfe des Cellutome-Systems (Firma KCI System, Acelity, San Antonio, Texas, USA) bei Patienten mit einem Defekt nach einer Radialislappentnahme zwar noch keinen absoluten Ersatz, jedoch unter bestimmten Bedingungen eine sehr gute Alternative zu den herkömmlichen Verfahren wie der Spalthaut- oder auch Vollhauttransplantation darstellt.

Durch das System und dem damit einhergehenden Verzicht auf Saugglocken, Spritzen und weiteren Mitteln zur epidermalen Lösung, kann ein verlässliches, vereinfachtes, einheitliches und erheblich verkürztes Verfahren zur epidermalen Hauttransplantation etabliert werden. Im Gegensatz zu den herkömmlichen Verfahren wie das der Spalthaut-, aber auch der Vollhauttransplantation, handelt es sich hierbei um einen minimalinvasiven Eingriff. Der Eingriff ist ambulant durchführbar, besitzt einen geringen chirurgischen Aufwand und eine geringe Lernkurve (keine manuelle Nachbearbeitung/Entnahme des Transplantates). Zudem kann die Transplantation nahezu schmerzfrei (durch Belassen der Dermis) ohne Anästhesie beziehungsweise Operation durchgeführt werden. Daher ist diese Methode sowohl für den Patienten, als auch für den Behandler angenehmer zu gestalten. Insbesondere bei Patienten, welche schwerlich nochmal in Narkose gebracht werden können oder sollten, kann dieses Verfahren, wenn nötig, zur sekundären Defektdeckung am Unterarm nach Radialislappentnahme dienen. Dies senkt zudem die Kosten bezogen auf Personal, OP mit Vor- und Nachbereitung und stationärem Aufenthalt.

Das Problem, welches in der Literatur immer wieder durch unterschiedlichste Ansätze angegangen wird, und zwar das der sekundären Wunde an der Donorstelle, kann mit Hilfe dieses Verfahrens umgangen werden. Aufgrund des minimalinvasiven Eingriffs entfällt eine weitere iatrogen erzeugte Narbe mit erhöhtem Risiko für Infektionen und Schmerzen und somit die Notwendigkeit einer sekundären Wundversorgung, da die Entnahmestelle von selbst bei einer extrem hohen ästhetischen Wertigkeit regenerieren kann. Das andere Problem der „*limited donor site skin*“ kann ebenfalls gelöst werden, da wir im Vergleich zu den invasiven Verfahren nur ein schürfwundenähnliches Areal hinterlassen. Dieses reepithelialisiert zügig, autonom und vollständig und kann daher bei Bedarf erneut für eine Transplantatgewinnung zur Verfügung stehen.

An der Empfängerstelle kann eine ästhetisch suffiziente Epithelialisierung bei sehr geringer Komplikationsrate beobachtet werden, welche mit einem funktionell sehr guten Ergebnis einhergeht.

Auch nach einigen Jahren konnte noch eine hohe Patientenzufriedenheit beobachtet werden. Funktionell konnten keinerlei Einbußen festgestellt werden. Die Überprüfung der Handöffnung, der Sehnengleitbewegung und der Sensibilität waren sowohl aus ärztlicher als auch aus Patientenperspektive sehr positiv. Hierbei wäre für eine objektive Beurteilung im direkten Vergleich eine randomisierte kontrollierte Vergleichsstudie als nächstes Ziel anzudenken.

Nachteile dieses Verfahrens sind gemäß unseren Ergebnissen die ästhetisch den herkömmlichen Verfahren leicht unterlegenen Resultate (tendenziell stärkere Vernarbung und Pigmentierung) bei protrahiertem Wundheilungsverlauf an der Akzeptorstelle und somit einem erhöhten Bedarf an Compliance seitens des Patienten, erhöhten Nachbehandlungsbedarf, erhöhten Kosten und erhöhter Infektionsgefahr. Hierzu müssen Patienten stets ihre Kontrolltermine einhalten und ein sauberes und trockenes Wundmanagement durch regelmäßige Verbandswechsel zulassen.

Gemäß der inkludierten Literatur konnten bei der Anwendung allogener, xenogener oder auch artifizierlicher Transplantate vergleichbar gute Resultate aufgezeigt werden. Diese zeichnen sich ebenfalls durch eine schnelle Verfügbarkeit, aber auch durch einen ähnlich protrahierten Wundheilungsverlauf aus. Im Gegensatz zu der epidermalen Hauttransplantation gehen diese Transplantate jedoch oftmals mit einer aufwendigen Herstellung (Frage der Immunogenität) und Aufbewahrung einher. Unter Umständen bedarf es dennoch einer Kombination mit Spalthaut- oder auch Vollhauttransplantaten zur Verbesserung der Ergebnisse und somit einer weiteren Narbe, vermehrtem Aufwand, Belastung und Kosten. Das Risiko der Transplantatabstoßung, welches bei allogenen und xenogenen Transplantaten an der Empfängerstelle gegeben sein kann, kann aufgrund der autogenen Transplantation vermieden werden. Dies kann im Gegensatz zu den alloplastischen Verfahren oder zu den durch Gewebezüchtung hergestellten Transplantaten, welche diese Immunreaktionen nicht aufweisen, durch die epidermale Hauttransplantation auch kostengünstig ohne großen Aufwand und unter Umständen weitere Operation erreicht werden.

Folglich ist gemäß unserer Studie die epidermale Hauttransplantation zurzeit kein grundsätzlicher Ersatz der Standardverfahren, kann allerdings durch die nun gegebene Möglichkeit einer vereinfachten, reproduzierbaren und gleichmäßigen Epidermisentnahme durchaus Einzug in den klinischen Alltag erhalten. Ihren Einsatz kann sie gemäß unserer Studie bei kleinen bis hin zu mittelgroßen Defekten am ventralen Unterarm bei gut granuliertem Wundbett finden. Insbesondere bei multimorbiden Patienten mit erhöhtem Risiko bei erneuter Anästhesie und schnellem Behandlungsbedarf ist dieses Verfahren für die Donorseitendeckung eine sehr gute Behandlungsalternative und stellt einen Kompromiss aus geringem Aufwand und Risiko bei leicht eingeschränkter Ästhetik und Dauer der Wundheilung an der Empfängerstelle dar. Ebenfalls junge Patienten, welche eine sekundäre Wunde an der Donorstelle (zum Beispiel Oberschenkel) vermeiden wollen, können je nach Defektgröße diese Methode in Betracht ziehen. Wie bereits *Serena et al.*, aber auch *Smith et al.* zeigten, kann dieses Verfahren auch aufgrund der geringen Kosten bei Patienten mit wenig finanziellen Möglichkeiten der Defektdeckung dienen [97, 172]. Ebenfalls kann das Cellutome-System (Firma KCI) in speziellen Situationen, in denen kein Operationssaal und kein Operationsteam mitsamt Anästhesie zur Verfügung stehen als Mittel der Wahl für eine notfallmäßige Wundversorgung genutzt werden. Ihren Einsatz findet das Cellutome-System bei der Therapie unterschiedlichster Wunden, wie zum Beispiel bei akuten/chronischen Wunden, diabetischen Fußulzera, Dyspigmentierungen nach Verbrennungen, Vitiligo, behandlungsresistenten und rezidivierenden Defekte, aber auch bei multimorbiden Patienten [97, 172]. Ergänzend zu den zuvor erfolgten Studien hinsichtlich des Cellutome-Systems, konnten wir sein Einsatzgebiet nach unserem Wissensstand erstmalig auf die Radialislappenentnahmestelle und somit einer sowohl funktionell als auch ästhetisch höchst anspruchsvollen Region erweitern und sollten es in Zukunft auf noch vielen

weiteren Entnahmeregionen testen (zum Beispiel Latissimus dorsi Transplantate, Anterolateraler Oberschenkelappen, Fibula-Entnahmestelle).

Obwohl allgemeinanamnestisch bezüglich verschiedener Grunderkrankungen, trotz geringer Anzahl an Probanden, ein breites Spektrum geboten werden konnte, bedarf diese Studie natürlich noch einer Erweiterung hinsichtlich Quantität der Patienten. Um den kleinen und dünn-schichtigen Microdomes (epidermale Zellnester) nach Entnahme mittels des Cellutome-Systems, ein gut granuliertes, möglichst immobiles und robustes Transplantatlager für deren Einheilung und Ernährung bieten zu können, sollte die suprafasziale Lappenhebung bei äußerster Schonung der anatomischen Strukturen als optimales Verfahren der Radialislappenentfernung untersucht werden. Im Rahmen dieser Studie stellte jedoch auch die subfasziale Lappenhebung keine Kontraindikation dar. Somit wären Untersuchungen hinsichtlich unterschiedlicher Wundbettvor- und nachbereitungen (V.A.C., sub- bzw. suprafasziale Lappenhebung) interessant. Ebenso könnten randomisierte kontrollierte Vergleichsstudien, bei unter Umständen auch großflächigeren Wunden am Unterarm, helfen eine direkte Gegenüberstellung der epidermalen Hauttransplantation mittels Cellutome-System und den Standardverfahren zu erlangen.

Das von den Vorreitern des epidermalen Suction-Blister-Verfahrens, *Kiistala und Mustakalito*, entwickelte Gedankengut, kann mit Hilfe dieses automatisierten Verfahrens die zahlreichen bekannten Vorteile der epidermalen Hauttransplantation nun ebenfalls für den klinischen Alltag relevant machen.

5 Literatur- und Quellenverzeichnis

1. Heidt, B.A., Mehravari, P., Lommen, J., Schorn, L.K.F., Kübler, N.R., Nitschke, J., Holtmann, H., *Donor Defect Coverage by Epidermis Transplantation after Radial Flap Removal-A Case Series Report*. World Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 2019. 2(2): p. 1027
2. Horch, H.-H., P.D.D.D.h.c., Neff, A., *Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie*. Vol. 4. 2006, Urban und Fischer Verlag/Elsevier GmbH: München. p.754-757.
3. Schwegler J.S., Lucius, R., *Der Mensch –Anatomie und Physiologie*. Vol. 5. 2011, Thieme Verlag: Stuttgart. p.157-159.
4. College, Open Stax, *Anatomy and Pysiology - Layers of the Skin, Fig. 1*. Web Page, letzter Zugriff: 2021, Oktober. Available from: <https://philschatz.com/anatomy-book/contents/m46060.html>.
5. Schultz, S., *Gewebeexpander für Weichgeweberekonstruktionen im Kopf-Hals-Bereich – Anforderungen und Grenzen*. Med Diss, 2013: Heinrich-Heine Universität Düsseldorf. p.5.
6. Braun-Falco, O., Plewig, G., Wolff, H. H., Burgdorf, W. H. C., Landthaler, M., *Grundlagen. Dermatologie und Venerologie*. Vol. 5. 2005, Springer Medizin Verlag: Heidelberg. p.4.
7. Reichart, P.A.H., Hausamen, J.-E., Becker, J., *Band III: Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie. Curriculum Chirurgie*. Vol. 1. 2002, Quintessenz: Berlin. p.488.
8. Huang, C.H., et al., *Comparison of the radial forearm flap and the thinned anterolateral thigh cutaneous flap for reconstruction of tongue defects: an evaluation of donor-site morbidity*. Plast Reconstr Surg, 2004. 114(7): p. 1704-10.
9. Morrissey, A.T., et al., *Radial forearm versus anterolateral thigh free flaps for laryngopharyngectomy defects: prospective, randomized trial*. J Otolaryngol Head Neck Surg, 2010. 39(4): p. 448-53.
10. Oranges, C.M., et al., *Comparison of Anterolateral Thigh and Radial Forearm Free Flaps in Head and Neck Reconstruction*. In Vivo, 2018. 32(4): p. 893-897.
11. Loreti, A., et al., *Thinned anterolateral thigh cutaneous flap and radial fasciocutaneous forearm flap for reconstruction of oral defects: comparison of donor site morbidity*. J Oral Maxillofac Surg, 2008. 66(6): p. 1093-8.
12. Cai, Y.C., et al., *Comparative Analysis of Radial Forearm Free Flap and Anterolateral Thigh Flap in Tongue Reconstruction after Radical Resection of Tongue Cancer*. ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec, 2019. 81(5-6): p. 252-264.
13. Ohmori, K., Harii, K., *Free dorsalis pedis sensory flap to the hand, with microneurovascular anastomoses*. Plast Reconstr Surg, 1976. 58(5): p. 546-54.
14. Issing, P.R., et al., *[Reconstructive surgery in the head-neck area with regional and free tissue transfer]*. Laryngorhinootologie, 1996. 75(8): p. 476-82.
15. Soutar, D.S., McGregor, I.A., *The radial forearm flap in intraoral reconstruction: the experience of 60 consecutive cases*. Plast Reconstr Surg, 1986. 78(1): p. 1-8.
16. Jeremić, J.V. and Nikolić Ž, S., *Versatility of Radial Forearm Free Flap for Intraoral Reconstruction*. Srp Arh Celok Lek, 2015. 143(5-6): p. 256-60.
17. Juretic, M., Car, M. and Zambelli, M., *The radial forearm free flap: our experience in solving donor site problems*. J Craniomaxillofac Surg, 1992. 20(4): p. 184-6.
18. Yang, G.F., et al., *Forearm free skin flap transplantation: a report of 56 cases*. 1981. Br J Plast Surg, 1997. 50(3): p. 162-5.
19. Schwarzer, C., et al., *Donor site morbidity and flap perfusion of subfascial and suprafascial radial forearm flaps: A randomized prospective clinical comparison trial*. J Craniomaxillofac Surg, 2016. 44(9): p. 1299-304.

20. Engelmann, V., *Noninvasives Monitoring der Perfusion und Oxygenation im Entnahmebereich nach mikrochirurgischem Radialislappen-Transfer mit Untersuchung der Sensomotorik und Lebensqualität in Fakultät der Medizin*. Med Diss, 2011: Technische Universität München. p. 15.
21. Soutar, D.S., et al., *The radial forearm flap: a versatile method for intra-oral reconstruction*. Br J Plast Surg, 1983. 36(1): p. 1-8.
22. Muhlbauer, W., Herndl, E., Stock, W., *The forearm flap*. Plast Reconstr Surg, 1982. 70(3): p. 336-44.
23. Evans, G.R., et al., *The radial forearm free flap for head and neck reconstruction: a review*. Am J Surg, 1994. 168(5): p. 446-50.
24. Ho, T., et al., *Radial forearm free flap donor site outcomes comparison by closure methods*. Otolaryngol Head Neck Surg, 2006). 134(2): p. 309-15.
25. Harris B.N., Bewley, A.F., *Minimizing free flap donor-site morbidity*. Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg, 2016. 24(5): p.447-52.
26. Zhang, C., et al., *Microsurgical free flap reconstructions of the head and neck region: Shanghai experience of 34 years and 4640 flaps*. International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 2015. 44(6): p. 675-684.
27. Manero, I., Labanca, T., Trivino, J.M., *Aesthetic Refinements after Radial Free Flap Phalloplasty: Optimizing the Donor Site and the Phallus*. Plast Reconstr Surg Glob Open, 2017. 5(12):e1611.
28. Ito, O., et al., *Evaluation of the donor site in patients who underwent reconstruction with a free radial forearm flap*. J Reconstr Microsurg, 2005. 21(2): p. 113-7.
29. Riecke, B., et al., *Local full-thickness skin graft of the donor arm—a novel technique for the reduction of donor site morbidity in radial forearm free flap*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2015. 44(8): p. 937-41.
30. Timmons, M.J., et al., *Complications of radial forearm flap donor sites*. Br J Plast Surg, 1986. 39(2): p. 176-8.
31. Bardsley, A.F., et al., *Reducing morbidity in the radial forearm flap donor site*. Plast Reconstr Surg, 1990. 86(2): p. 287-92; discussion 293-4.
32. Richardson, D., et al., *Radial Forearm Flap Donor-Site Complications and Morbidity: A Prospective Study*. Plastic and Reconstructive Surgery, 1997. 99(1): p. 109-115.
33. Avery, C.M.E., *Review of the radial free flap: is it still evolving, or is it facing extinction? Part one: soft-tissue radial flap*. British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 2010. 48(4): p. 245-252.
34. Biswas, A., et al., *The micrograft concept for wound healing: strategies and applications*. J Diabetes Sci Technol, 2010. 4(4): p. 808-19.
35. Schaverien, M., Saint-Cyr, M., *Suprafascial Compared With Subfascial Harvest of the Radial Forearm Flap: An Anatomic Study*. Journal of Hand Surgery, 2008. 33(1): p. 97-101.
36. Shonka, D.C., Jr., et al., *Suprafascial Harvest of the Radial Forearm Free Flap Decreases the Risk of Postoperative Tendon Exposure*. Ann Otol Rhinol Laryngol, 2017. 126(3): p. 224-228.
37. Lutz, B.S., et al., *Donor site morbidity after suprafascial elevation of the radial forearm flap: a prospective study in 95 consecutive cases*. Plast Reconstr Surg, 1999. 103(1): p. 132-7.
38. Chang, S.C., et al., *Limiting donor site morbidity by suprafascial dissection of the radial forearm flap*. Microsurgery, 1996. 17(3): p. 136-40.
39. Chau, J., et al., *Radial forearm donor site: comparison of the functional and cosmetic outcomes of different reconstructive methods*. J Otolaryngol Head Neck Surg, 2009. 38(2): p. 294-301.

40. Avery, C., *Prospective study of the septocutaneous radial free flap and suprafascial donor site*. British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 2007. **45**(8): p. 611-616.
41. Selvaggi, G., et al., *Donor-site morbidity of the radial forearm free flap after 125 phalloplasties in gender identity disorder*. Plast Reconstr Surg, 2006. **118**(5): p. 1171-1177.
42. Fenton, O.M. and Roberts, J.O., *Improving the donor site of the radial forearm flap*. Br J Plast Surg, 1985. **38**(4): p. 504-5.
43. Karimi, A., Mahy, P., Reychler, H., *Closure of radial forearm free flap donor site defect with a local meshed full-thickness skin graft: a retrospective study of an original technique*. J Craniomaxillofac Surg, 2007. **35**(8): p. 369-73.
44. Morykwas, M.J., et al., *Vacuum-assisted closure: a new method for wound control and treatment: animal studies and basic foundation*. Ann Plast Surg, 1997. **38**(6): p. 553-62.
45. Greer, S.E., et al., *The use of subatmospheric pressure dressing for the coverage of radial forearm free flap donor-site exposed tendon complications*. Ann Plast Surg, 1999. **43**(5): p. 551-4.
46. Ray, E., Mitchell, S.L. and Cordeiro, P.G., *Miniature Negative Pressure Dressings on Forearm Donor Sites after Radial Forearm Flap Harvest*. Plast Reconstr Surg Glob Open, 2018. **6**(6): p. e1838.
47. Avery, C., et al., *Negative pressure wound dressing of the radial forearm donor site*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2000. **29**(3): p. 198-200.
48. Koch, M., et al., *Treatment of the donor site of free radial flaps: vacuum sealing versus conventional wound care*. Acta Otolaryngol, 2017. **137**(12): p. 1301-1306.
49. Jones, S.M., Banwell, P.E. and Shakespeare, P.G., *Advances in wound healing: topical negative pressure therapy*. Postgraduate Medical Journal, 2005. **81**(956): p. 353-357.
50. Avery, C.M., Pereira, J., Brown, A.E., *Suprafascial dissection of the radial forearm flap and donor site morbidity*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2001. **30**(1): p. 37-41.
51. Halama, D., et al., *Donor-site morbidity after harvesting of radial forearm free flaps-comparison of vacuum-assisted closure with conventional wound care: A randomized controlled trial*. J Craniomaxillofac Surg, 2019. **47**(12): p. 1980-1985.
52. Clark, J.M., et al., *Donor site morbidity following radial forearm free flap reconstruction with split thickness skin grafts using negative pressure wound therapy*. J Otolaryngol Head Neck Surg, 2019. **48**(1): p. 21.
53. Andrews, B.T., et al., *Management of the radial forearm free flap donor site with the vacuum-assisted closure (VAC) system*. Laryngoscope, 2006. **116**(10): p. 1918-22.
54. Kerawala, C.J. and Martin, I.C., *Sensory deficit in the donor hand after harvest of radial forearm free flaps*. Br J Oral Maxillofac Surg, 2006. **44**(2): p. 100-2.
55. Chambers, P.A., et al., *Comparative study of the ipsilateral full thickness forearm skin graft in closure of radial forearm flap donor site defects*. J Craniomaxillofac Surg, 1997. **25**(5): p. 245-8.
56. Kanapathy, M., et al., *Epidermal grafting versus split-thickness skin grafting for wound healing (EPIGRAAFT): study protocol for a randomised controlled trial*. Trials, 2016. **17**(1): p. 245.
57. Pirlich, M., et al., *Functional and cosmetic donor site morbidity of the radial forearm-free flap: comparison of two different coverage techniques*. European Archives of Oto-Rhino-Laryngology, 2018. **275**(5): p. 1219-1225.
58. Samis, A.J. and Davidson, J.S., *Skin-stretching device for intraoperative primary closure of radial forearm flap donor site*. Plast Reconstr Surg, 2000. **105**(2): p. 698-702.

59. Berge, S.J., et al., *Tissue expansion using osmotically active hydrogel systems for direct closure of the donor defect of the radial forearm flap*. *Plast Reconstr Surg*, 2001. **108**(1): p. 1-5, discussion 6-7.
60. Hallock, G.G., *Refinement of the radial forearm flap donor site using skin expansion*. *Plast Reconstr Surg*, 1988. **81**(1): p. 21-5.
61. Bonaparte, J.P., et al., *Management of the radial forearm free flap donor site using a topically applied tissue expansion device*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 2013. **116**(1): p. 28-34.
62. Moazzam, A. and Gordon, D.J., *Cross-suturing as an aid to wound closure: a prospective randomised trial using the forearm flap donor site as a model*. *Br J Plast Surg*, 2003. **56**(7): p. 695-700.
63. Winslow, C.P., et al., *Pursestring closure of radial forearm fasciocutaneous donor sites*. *Laryngoscope*, 2000. **110**(11): p. 1815-8.
64. Pabst, A.M., Werkmeister, R., Steegmann, J., Hölzle, F., Bartella, A., *Is there an ideal way to close the donor site of radial forearm free flaps?* *BRr J Oral Maxillofac Surg*, 2018. **56**(6): p.1-9.
65. Liang, M.D., Swartz, W.M. and Jones, N.F., *Local full-thickness skin-graft coverage for the radial forearm flap donor site*. *Plast Reconstr Surg*, 1994. **93**(3): p. 621-5.
66. H.-H.-Horch, P.D.D.D.h.c., Neff, A., *Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie*. Vol. 4. 2006, Urban und Fischer Verlag/Elsevier GmbH: München. p.760.
67. Tanner, J.C., Jr., Vandeput, J. and Olley, J.F., *The Mesh Skin Graft*. *Plast Reconstr Surg*, 1964. **34**: p. 287-92.
68. Klosova, H., Nemeckova Crkvenjas, Z., Stetinsky, J., *Meek Micrografting Technique and its use in the treatment of severe burn injuries at the university hospital Ostrava Burn Center*. *Acta Chir Plast*, 2017. **59**(1): p. 11-17.
69. KCI, M. *Monograph-CELLUTOME Epidermal harvesting system*. 2020. Web Page, letzter Zugriff: 2021, Mai; Available from: <https://multimedia.3m.com/mws/media/1925666O/cellutome-epidermal-harvesting-system-case-studies-monograph.pdf>.
70. Avery, C.M., et al., *Repair of radial free flap donor site by full-thickness skin graft from inner arm*. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 2005. **43**(2): p. 161-5.
71. Reichart, P.A.H., Hausamen, J.E., Becker, J., *Band III: Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie. Curriculum Chirurgie*. Vol. 1. 2002, Quintessenz: Berlin. p.487-489.
72. Watfa, W., et al., *MatriDerm Decreases Donor Site Morbidity After Radial Forearm Free Flap Harvest in Transgender Surgery*. *J Sex Med*, 2017. **14**(10): p. 1277-1284.
73. Argenta, L.C. and Morykwas, M.J., *Vacuum-assisted closure: a new method for wound control and treatment: clinical experience*. *Ann Plast Surg*, 1997. **38**(6): p. 563-76; discussion 577.
74. McBride, C.A., Kempf M., Kimble R.M., Stockton K., *Variability in split-thickness skin graft depth when using an air-powered dermatome: A paediatric cohort study*. *Burns*, 2017. **43**(7): p. 1552-1560.
75. Thorne C.H., Chung, K., Gosain, A.K., Gurtner, G.C., Mehrara, B.J., Rubin, J.P. et al. *Grabb and Smith's plastic surgery*. Seventh edition. 2013, Wolters Kluwer Health Adis (ESP): Philadelphia. part I.
76. Hallock, G.G., *Soft Tissue coverage of the upper extremity using the ipsilateral radial forearm flap*. *Contemp. Orthop.*, 1987. **15**: p.15.
77. McGregor, A.D., Mc Gregor IA., *Fundamental techniques of plastic surgery and their surgical applications*. 10 th edition. 2000, Churchill Livingstone: Edinburgh. p. 35-37.

78. Kim, P.D., et al., *Avoiding secondary skin graft donor site morbidity in the fibula free flap harvest*. Arch Otolaryngol Head Neck Surg, 2008. 134(12): p. 1324-7.
79. Sidebottom, A.J., et al., *Repair of the radial free flap donor site with full or partial thickness skin grafts. A prospective randomised controlled trial*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2000. 29(3): p. 194-7.
80. Davis, W.J., 3rd, et al., *A comparison of full and split thickness skin grafts in radial forearm donor sites*. J Hand Microsurg, 2011. 3(1): p. 18-24.
81. van der Lei, B., Spronk, C.A. and de Visscher, J.G., *Closure of radial forearm free flap donor site with local full-thickness skin graft*. British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 1999. 37(2): p. 119-122.
82. Petruzzelli, G.J. and Johnson, J.T., *Skin grafts*. Otolaryngol Clin North Am, 1994. 27(1): p. 25-37.
83. Cai, S.S., et al., *A Case Series of Complex Recalcitrant Wounds Treated with Epidermal Grafts Harvested from an Automated Device*. Cureus, 2016. 8(10): p. e853.
84. Reverdin, J.L. and Ivy, R.H., *The Classic Reprint Greffe Epidermique-Experience faite dans le service de M. le docteur Guyon, A L'Hopital Necker*. Plastic and Reconstructive Surgery, 1968. 41(1): p. 79-81.
85. Davis, J.S., *Address of the President: The Story of Plastic Surgery*. Ann Surg, 1941. 113(5): p. 641-56.
86. Oien, R.F., et al., *Pinch grafting of chronic leg ulcers in primary care: fourteen years' experience*. Acta Derm Venereol, 2002. 82(4): p. 275-8.
87. Mangoldt, F., *Die Ueberhäutung von Wundflächen und Wundhöhlen durch Epithelaussaat, eine neue Methode der Transplantation 1*. Deutsche Medizinische Wochenschrift, 1895. 21(48): p. 798-799.
88. Reschke-Greifswold, H., *Epithelisierungsversuche*. Arch F Klin Chir, 1922. 121: p. 233.
89. Gabarro, P., *A New Method of Grafting*. Br Med J, 1943. 1(4301): p. 723-4.
90. Meek, C.P., *Successful microdermagrafting using the Meek-Wall microdermatome*. The American Journal of Surgery, 1958. 96(4): p. 557-558.
91. Kiistala, U. and Mustakallio, K.K., *In-Vivo Separation of Epidermis by Production of Suction Blisters*. Lancet, 1964. 2(7348): p. 1444-5.
92. Yamaguchi, Y., et al., *Rapid healing of intractable diabetic foot ulcers with exposed bones following a novel therapy of exposing bone marrow cells and then grafting epidermal sheets*. Br J Dermatol, 2004. 151(5): p. 1019-28.
93. Burm, J.S., Rhee, S.C. and Kim, Y.W., *Superficial dermabrasion and suction blister epidermal grafting for postburn dyspigmentation in Asian skin*. Dermatol Surg, 2007. 33(3): p. 326-32.
94. Costanzo, U., Streit, M. and Braathen, L.R., *Autologous suction blister grafting for chronic leg ulcers*. J Eur Acad Dermatol Venereol, 2008. 22(1): p. 7-10.
95. Gupta, S., Jain, V.K. and Saraswat, P.K., *Suction blister epidermal grafting versus punch skin grafting in recalcitrant and stable vitiligo*. Dermatol Surg, 1999. 25(12): p. 955-8.
96. Koga, M., *Epidermal grafting using the tops of suction blisters in the treatment of vitiligo*. Arch Dermatol, 1988. 124(11): p. 1656-8.
97. Serena, T., et al., *Use of a Novel Epidermal Harvesting System in Resource-Poor Countries*. Advances in Skin & Wound Care, 2015. 28(3): p. 107-112.
98. Serena, T.E., *The increasing role of epidermal grafting utilizing a novel harvesting system in chronic wounds*. Wounds, 2015. 27(2): p. 26-30.

99. Gabriel, A., Sobota, R.V. and Champaneria, M., *Initial experience with a new epidermal harvesting system: overview of epidermal grafting and case series*. *Surg Technol Int*, 2014. 25: p. 55-61.
100. Sinha, U.K., et al., *Use of AlloDerm for coverage of radial forearm free flap donor site*. *Laryngoscope*, 2002. 112(2): p. 230-4.
101. Byun, S.H., et al., *Functional and cosmetic outcome after closure of radial forearm free flap donor defect with porcine collagen membrane*. *J Craniomaxillofac Surg*, 2016. 44(5): p. 527-32.
102. Abbate, V., et al., *The Use of Dermal Substitutes for Donor Site Closure After Radial Forearm Free Flap Harvesting*. *J Craniofac Surg*, 2021. 32(2): p. e205-e208.
103. Chih-chun, Y., Tsi-siang, S. and Wei-shia, X., *A Chinese concept of treatment of extensive third-degree burns*. *Plast Reconstr Surg*, 1982. 70(2): p. 238-54.
104. Rowe, N.M., Morris, L. and Delacure, M.D., *Acellular dermal composite allografts for reconstruction of the radial forearm donor site*. *Ann Plast Surg*, 2006. 57(3): p. 305-11.
105. Lee, M.C., et al., *Comparative Skin Evaluation After Split-Thickness Skin Grafts Using 2 Different Acellular Dermal Matrices to Cover Composite Forearm Defects*. *J Hand Surg Am*, 2017. 42(4): p. 297.e1-297.e10.
106. Park, T.J., Kim, H.J. and Ahn, K.M., *Double-layered collagen graft to the radial forearm free flap donor sites without skin graft*. *Maxillofac Plast Reconstr Surg*, 2015. 37(1): p. 45.
107. Tane, N., Aihara, M. and Inoue, H., *The use of artificial dermis on the donor defect of the free forearm flap*. *J Reconstr Microsurg*, 1996. 12(4): p. 215-20.
108. Reichart, P.A.H., Hausamen, J.-E., Becker, J., *Band III: Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Curriculum Chirurgie. Vol. I. 2002, Quintessenz: Berlin. p.490.*
109. Ichiki, Y. and Kitajima, Y., *Successful treatment of scleroderma-related cutaneous ulcer with suction blister grafting*. *Rheumatol Int*, 2008. 28(3): p. 299-301.
110. Hanafusa, T., Yamaguchi, Y. and Katayama, I., *Intractable wounds caused by arteriosclerosis obliterans with end-stage renal disease treated by aggressive debridement and epidermal grafting*. *J Am Acad Dermatol*, 2007. 57(2): p. 322-6.
111. Yamaguchi, Y., et al., *Prevention of amputation caused by rheumatic diseases following a novel therapy of exposing bone marrow, occlusive dressing and subsequent epidermal grafting*. *Br J Dermatol*, 2005. 152(4): p. 664-72.
112. Tang, W.Y., Chan, L.Y. and Lo, K.K., *Treatment of vitiligo with autologous epidermal transplantation using the roofs of suction blisters*. *Hong Kong Med J*, 1998. 4(2): p. 219-224.
113. Njoo, M.D., et al., *A systematic review of autologous transplantation methods in vitiligo*. *Arch Dermatol*, 1998. 134(12): p. 1543-9.
114. Budania, A., et al., *Comparison between autologous noncultured epidermal cell suspension and suction blister epidermal grafting in stable vitiligo: a randomized study*. *Br J Dermatol*, 2012. 167(6): p. 1295-301.
115. Gupta, S., *Epidermal Grafting for Depigmentation due to Discoid Lupus erythematosus*. *Dermatology*, 2001. 202(4): p. 320-323.
116. Richardson, W.S., et al., *The well-built clinical question: a key to evidence-based decisions*. *ACP J Club*, 1995. 123(3): p. A12-3.
117. Loeffelbein, D.J., et al., *Reduction of donor site morbidity of free radial forearm flaps: what level of evidence is available?* *Eplasty*, 2012. 12: p. e9.
118. Bayer O., C.O.L., Hoffmann D., Schweizer S., *Praxisleitfaden Systematische Literaturrecherche der Universitätsmedizin Mainz. Version 2.0 beta. Web Page, letzter Zugriff: 2021, April. Available from:*

<https://seafilerlp.net/d/b87dc2b6b57a486a874d/files/?p=%2FArchiv%20alle%20Versionen%20%2FPraxisleitfaden-Systematische-Literaturrecherche-Version-2-0-beta.pdf>

119. Sampson, M., Tetzlaff, J. and Urquhart, C., *Precision of healthcare systematic review searches in a cross-sectional sample*. Res Synth Methods, 2011. 2(2): p. 119-25.
120. Antes, G., Sauerland, S. and Seiler, C.M., *Evidence-based medicine--from best research evidence to a better surgical practice and health care*. Langenbecks Arch Surg, 2006. 391(2): p. 61-7.
121. Swanson, E., Boyd, J.B. and Manktelow, R.T., *The radial forearm flap: reconstructive applications and donor-site defects in 35 consecutive patients*. Plast Reconstr Surg, 1990. 85(2): p. 258-66.
122. Lane, J.C., Swan, M.C. and Cassell, O.C., *Closure of the radial forearm donor site using a local hatchet flap: analysis of 45 consecutive cases*. Ann Plast Surg, 2013. 70(3): p. 308-12.
123. Jaquet, Y., et al., *Radial forearm free flap donor site morbidity: ulnar-based transposition flap vs split-thickness skin graft*. Arch Otolaryngol Head Neck Surg, 2012. 138(1): p. 38-43.
124. Elliot, D., et al., *Direct closure of the radial forearm flap donor defect*. Br J Plast Surg, 1988. 41(4): p. 358-60.
125. Mashrah, M.A., et al., *Novel technique for the direct closure of the radial forearm flap donor site defect with a local bilobed flap*. Head Neck, 2019. 41(9): p. 3282-3289.
126. Garg, R.K., et al., *The radial forearm snake flap: A novel approach to oral cavity and oropharyngeal reconstruction that reduces forearm donor site morbidity*. Microsurgery, 2017. 37(1): p. 6-11.
127. Zhang, Y.X., et al., *Bipaddle radial forearm flap for head and neck reconstruction*. J Craniofac Surg, 2015. 26(2): p. 350-3.
128. Hyakusoku, H., et al., *The perforator pedicled propeller (PPP) flap method: report of two cases*. J Nippon Med Sch, 2007. 74(5): p. 367-71.
129. Shaikh, S.A., et al., *Reducing the donor site morbidity in radial forearm free flaps by utilizing a narrow radial forearm free flap*. Arch Plast Surg, 2018. 45(4): p. 345-350.
130. Chavre, S., et al., *Shape-modified radial forearm free tissue transfer in oral cavity reconstruction: Technique and a prospective comparison with the conventional technique*. Head Neck, 2020. 42(11): p. 3345-3351.
131. Mateev, M.A., et al., *Shape-modified radial artery perforator flap method: analysis of 112 cases*. Plast Reconstr Surg, 2009. 123(5): p. 1533-1543.
132. Tran, N.V., Buchel, E.W. and Convery, P.A., *Microvascular complications of DIEP flaps*. Plast Reconstr Surg, 2007. 119(5): p. 1397-1405.
133. Li, H., et al., *A novel Design of V-shaped Radial Forearm Free Flap Facilitates the Direct Closure of Donor Site Wound*. J Craniofac Surg, 2020. 32(3): p. 1136-1139.
134. Zhang, Y.X., et al., *Reverse bipaddle posterior interosseous artery perforator flap*. Plast Reconstr Surg, 2013. 131(4): p. 552e-562e.
135. Medina, C.R., et al., *Improvement of the radial forearm flap donor defect by prelamination with human acellular dermal matrix*. Plast Reconstr Surg, 2011. 127(5): p. 1993-1996.
136. Wolff, K.D., Ervens, J. and Hoffmeister, B., *[Raising a radial flap with primary wound closure by prefabrication of split skin fascia flaps]*. Mund Kiefer Gesichtschir, 1997. 1(4): p. 224-8.
137. Nehrer-Tairysh, G.V., et al., *A comparison of the donor-site morbidity after using the prelaminated fasciomucosal flap and the fasciocutaneous radial forearm flap for intraoral reconstruction*. Br J Plast Surg, 2002. 55(3): p. 198-202.

138. Bonaparte, J.P., Corsten, M.J. and Allen, M., *Healing time of radial forearm free flap donor sites after preoperative tissue expansion: randomized controlled trial*. J Otolaryngol Head Neck Surg, 2011. **40** Suppl 1: p. S20-7.
139. Bonaparte, J.P., Corsten, M. and Allen, M., *Cost-effectiveness of a topically applied pre-operative tissue expansion device for radial forearm free flaps: a cohort study*. Clin Otolaryngol, 2011. **36**(4): p. 345-51.
140. Wiese, K.G., *Gewebedehnung mit osmotisch-aktiven Hydrogelsystemen: Entwicklung und tierexperimentelle Untersuchungen einer neuen Methode der Gewebeexpansion*. Habilitationsschrift, 1998: Quintessenz: Berlin. pp.108.
141. Siegert, R. and Weerda, H., *Die Hautexpansion. II: Klinische Anwendung und Komplikationen*. HNO. Hals-, Nasen-, Ohrenärzte, 1994. **42**(3): p. 182-194.
142. Hunger, S., et al., *Use of amniotic membrane for radial forearm free flap donor site coverage: clinical, functional and cosmetic outcomes*. Clin Oral Investig, 2020. **24**(7): p. 2433-2443.
143. Lee, J.W., Jang, Y.C. and Oh, S.J., *Use of the artificial dermis for free radial forearm flap donor site*. Ann Plast Surg, 2005. **55**(5): p. 500-2.
144. Murray, R.C., et al., *Reconstruction of the radial forearm free flap donor site using Integra artificial dermis*. Microsurgery, 2011. **31**(2): p. 104-8.
145. Wirthmann, A., et al., *Long-term follow-up of donor site morbidity after defect coverage with Integra following radial forearm flap elevation*. Eur J Plast Surg, 2014. **37**(3): p. 159-166.
146. Duteille, F., et al., *Evaluation of the advantages of Integra for covering Chinese flap graft donor sites: a series of 10 cases*. Plast Reconstr Surg, 2004. **114**(1): p. 264-6.
147. Wester, J.L., et al., *AlloDerm with split-thickness skin graft for coverage of the forearm free flap donor site*. Otolaryngol Head Neck Surg, 2014. **150**(1): p. 47-52.
148. Chio, E.G. and Agrawal, A., *A randomized, prospective, controlled study of forearm donor site healing when using a vacuum dressing*. Otolaryngol Head Neck Surg, 2010. **142**(2): p. 174-8.
149. Vidrine, D.M., Kaler, S. and Rosenthal, E.L., *A comparison of negative-pressure dressings versus Bolster and splinting of the radial forearm donor site*. Otolaryngol Head Neck Surg, 2005. **133**(3): p. 403-6.
150. Moreno-Sánchez, M., et al., *Closure of the Radial Forearm Free Flap Donor Site Using the Combined Local Triangular Full-Thickness Skin Graft*. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. **74**(1): p. 204-211.
151. Krane, N.A., et al., *Reconstructing Forearm Free Flap Donor Sites Using Full-Thickness Skin Grafts Harvested from the Ipsilateral Arm*. Otolaryngol Head Neck Surg, 2020. **162**(3): p. 277-282.
152. Riecke, B., et al., *Prospective biomechanical evaluation of donor site morbidity after radial forearm free flap*. Br J Oral Maxillofac Surg, 2016. **54**(2): p. 181-6.
153. Shiba, K., Iida, Y. and Numata, T., *Ipsilateral full-thickness forearm skin graft for covering the radial forearm flap donor site*. Laryngoscope, 2003. **113**(6): p. 1043-6.
154. Zuidam, J.M., Coert, J.H. and Hofer, S.O., *Closure of the donor site of the free radial forearm flap: a comparison of full-thickness graft and split-thickness skin graft*. Ann Plast Surg, 2005. **55**(6): p. 612-6.
155. Giordano, L., et al., *Radial forearm free flap surgery: a modified skin-closure technique improving donor-site aesthetic appearance*. Acta Otorhinolaryngol Ital, 2012. **32**(3): p. 158-63.
156. Yao, L., et al., *Repair of Donor Site Defects After Forearm Free Flap Harvest with Dual Triangular Flaps and in Situ Small Full-thickness Skin Flaps*. J Craniofac Surg, 2020. **32**(5):1853-1855

157. Behan, F.C., *The Keystone Design Perforator Island Flap in reconstructive surgery*. ANZ J Surg, 2003. 73(3): p. 112-20.
158. Potet, P., et al., *Closure of radial forearm free flap donor site: A comparative study between keystone flap and skin graft*. Head Neck, 2020. 42(2): p. 217-223.
159. Hsieh, C.H., et al., *Primary closure of radial forearm flap donor defects with a bilobed flap based on the fasciocutaneous perforator of the ulnar artery*. Plast Reconstr Surg, 2004. 113(5): p. 1355-60.
160. Boahene, K., et al., *Hinged forearm split-thickness skin graft for radial artery fasciocutaneous flap donor site repair*. Arch Facial Plast Surg, 2011. 13(6): p. 392-4.
161. Kaltman, J.M., et al., *Closure of the radial forearm free flap donor site defect with a full-thickness skin graft from the inner arm: a preferred technique*. J Oral Maxillofac Surg, 2012. 70(6): p. 1459-63.
162. Kim, T.B., et al., *Full-thickness skin graft from the groin for coverage of the radial forearm free flap donor site*. Am J Otolaryngol, 2007. 28(5): p. 325-9.
163. Webster, H.R. and Robinson, D.W., *The radial forearm flap without fascia and other refinements*. European Journal of Plastic Surgery, 1995. 18(1): p. 11-13.
164. Lutz, B.S., et al., [*Supra-fascial elevated free forearm flap--indications, surgical technique and follow-up examination of the donor site defect*]. Handchir Mikrochir Plast Chir, 1999. 31(1): p. 10-4.
165. Lee, J.H., et al., *Functional and esthetic assessment of radial forearm flap donor site repaired with split thickness skin graft*. Eur Arch Otorhinolaryngol, 2011. 268(1): p. 109-15.
166. Gaukroger, M.C., et al., *Repair of the radial forearm flap donor site with a full-thickness graft*. Int J Oral Maxillofac Surg, 1994. 23(4): p. 205-8.
167. McGregor, A.D., *The free radial forearm flap--the management of the secondary defect*. Br J Plast Surg, 1987. 40(1): p. 83-5.
168. Toschka, H., et al., *Aesthetic and functional results of harvesting radial forearm flap, especially with regard to hand function*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2001. 30(1): p. 42-8.
169. Brown, M.T., Couch, M.E. and Huchton, D.M., *Assessment of donor-site functional morbidity from radial forearm fasciocutaneous free flap harvest*. Arch Otolaryngol Head Neck Surg, 1999. 125(12): p. 1371-4.
170. Suominen, S., Ahovuo, J. and Asko-Seljavaara, S., *Donor site morbidity of radial forearm flaps. A clinical and ultrasonographic evaluation*. Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg, 1996. 30(1): p. 57-61.
171. Motomura, H., et al., *Improvement of the radial forearm donor site by compression with hydrocolloid dressing and adhesive sponge*. Acta Otolaryngol, 2006. 126(2): p. 204-8.
172. Smith, O.J., et al., *The CelluTome epidermal graft-harvesting system: a patient-reported outcome measure and cost evaluation study*. Int Wound J, 2017. 14(3): p. 555-560.
173. Falabella, R., *Epidermal grafting. An original technique and its application in achromic and granulating areas*. Arch Dermatol, 1971. 104(6): p. 592-600.
174. Kim, H.Y. and Kang, K.Y., *Epidermal grafts for treatment of stable and progressive vitiligo*. J Am Acad Dermatol, 1999. 40(3): p. 412-7.
175. Richmond, N.A., et al., *Epidermal grafting using a novel suction blister-harvesting system for the treatment of pyoderma gangrenosum*. JAMA Dermatology, 2014. 150(9): p. 999-1000.

176. Fearmonti, R.M., *Efficacy of Epidermal Skin Grafts Over Complex, Chronic Wounds in Patients With Multiple Comorbidities*. *Wounds*, 2016. **28**(7): p. 226-32.
177. González-García, R., et al., *Combined local triangular full-thickness skin graft for the closure of the radial forearm free flap donor site: a new technique*. *J Oral Maxillofac Surg*, 2009. **67**(7): p. 1562-7.
178. Sleeman, D., Carton, A.T. and Stassen, L.F., *Closure of radial forearm free flap defect using full-thickness skin from the anterior abdominal wall*. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 1994. **32**(1): p. 54-5.
179. Wax, M.K., Winslow, C.P. and Andersen, P.E., *Use of allogenic dermis for radial forearm free flap donor site coverage*. *J Otolaryngol*, 2002. **31**(6): p. 341-5.
180. de Witt, C.A., et al., *Donor site morbidity of the fasciocutaneous radial forearm flap: what does the patient really bother?* *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2007. **264**(8): p. 929-34.
181. Erol, O.O., *The transformation of a free skin graft into a vascularized pedicled flap*. *Plast Reconstr Surg*, 1976. **58**(4): p. 470-7.
182. Masser, M.R., *The preexpanded radial free flap*. *Plast Reconstr Surg*, 1990. **86**(2): p. 295-301; discussion 302-3.
183. Dickson, M.G. and Sharpe, D.T., *The complications of tissue expansion in breast reconstruction: a review of 75 cases*. *Br J Plast Surg*, 1987. **40**(6): p. 629-35.
184. Antonyshyn, O., et al., *Complications of soft tissue expansion*. *Br J Plast Surg*, 1988. **41**(3): p. 239-50.
185. Gupta, M., Allen, M. and Corsten, M., *Reduction of donor site morbidity in the radial forearm free flap by use of topical tissue expanders*. *J Otolaryngol Head Neck Surg*, 2009. **38**(6): p. 628-31.
186. Smith, G.I., et al., *Clinical outcome and technical aspects of 263 radial forearm free flaps used in reconstruction of the oral cavity*. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 2005. **43**(3): p. 199-204.
187. Shores, J.T., et al., *Tendon coverage using an artificial skin substitute*. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2012. **65**(11): p. 1544-50.
188. Xia, C.Y., et al., *Analysis of blood flow and local expression of angiogenesis-associated growth factors in infected wounds treated with negative pressure wound therapy*. *Mol Med Rep*, 2014. **9**(5): p. 1749-54.
189. Boorman, J.G., J.A. Brown, and P.J. Sykes, *Morbidity in the forearm flap donor arm*. *Br J Plast Surg*, 1987. **40**(2): p. 207-12.
190. Van Kouwenberg, E.A., et al., *Endoscopic-Assisted Radial Forearm Free Flap Harvest: A Novel Technique to Reduce Donor Site Morbidity*. *J Reconstr Microsurg*, 2019. **35**(1): p. 22-30.

6 Anhang

Subgruppe A: primärer Wundverschluss

Tabelle 1:

Nr.	Titel	Autor	Publi- kations- jahr	Sprache	Studiendesign	Studienart/Ort der Veröffent- lichung
1	Radial forearm free flap donor site morbidity: ulnar-based transposition flap vs. split-thickness skin graft	Yves Jaquet, Danny Enepekides, Cory Torgerson, Kevin Higgins	2012	Englisch	Klinische Vergleichsstudie (retrospektiv)	Journal article (Otolaryngol Head Neck Sur)
2	Closure of the radial forearm donor site using a local hatchet flap: analysis of 45 consecutive cases	Jennifer C Lane, Marc C Swan, Oliver C S Cassell	2013	Englisch	Klinische Studie (retrospektiv)	Journal article (Ann Plast Surg)
3	Novel technique for the direct closure of the radial forearm flap donor site defect with a local bilobed flap	Mubarak Ahmed Mashrah , Yan Lingjian , Thomas Peter Handley, Chaobin Pan , Chen Weiliang	2019	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Head and neck)
4	The radial forearm snake flap: A novel approach to oral cavity and oropharyngeal reconstruction that reduces forearm donor site morbidity	Ravi K Garg , Aaron M Wieland, Samuel O Poore, Ruston Sanchez, Gregory K Hartig	2017	Englisch	Klinische Vergleichsstudie (retrospektiv)	Journal article (Microsurgery)
5	A novel Design of V-shaped Radial Forearm Free Flap Facilitates the Direct Closure of Donor Site Wound	Li, Hao MDS; Xu, Wenguang MDS Wang, Yuxin DDS; Liu, Zhe MDS; Cao, Yazhou MDS; Han, Wei DDS	2020	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Journal of Craniofacial Surgery)
6	Bipaddle radial forearm flap for head and neck reconstruction	Yi Xin Zhang, Wenjing Xi, Davide Lazzeri, Xiao Zhou, Zan Li, Fabio Nicoli, Michael R Zenn, Matteo Torresetti, Luca Grasseti, Giuseppe Spinelli	2015	Englisch	Klinische Studie (retrospektiv)	Journal article (Journal of Craniofacial Surgery)
7	Reducing the donor site morbidity in radial forearm free flaps by utilizing a narrow radial forearm free flap	Safdar Ali Shaikh, Amber Bawa, Noman Shahzad, Zara Yousufzai, Muhammad Shahab Ghani	2018	Englisch	Klinische Studie (retrospektiv)	Journal article (Arch Plast Surg.)

8	Shape-modified radial forearm free tissue transfer in oral cavity reconstruction: Technique and a prospective comparison with the conventional technique	Sachin Chavre , Krishnakumar Thankappan , Jimmy Mathew , Mohit Sharma, Subramania Iyer	2020	Englisch	Klinische Vergleichsstudie (prospektiv)	Journal article (Head Neck)
9	Shape-modified radial artery perforator flap method: analysis of 112 cases	Musa A Mateev , Rei Ogawa, Leonid Trunov, Nurgul Moldobaeva, Hiko Hyakusoku	2009	Englisch	Klinische Studie (retrospektiv)	Journal article (Plastic and Reconstructive Surgery)
10	Improvement of the radial forearm flap donor defect by prelamination with human acellular dermal matrix	Medina, C R, Patel, S A, Ridge, J A, & Topham, N S	2011	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Plastic and Reconstructive Surgery)
11	[Raising a radial flap with primary wound closure by prefabrication of split skin fascia flaps]	K D Wolff, J Ervens, B Hoffmeister	1997	Deutsch	Klinische Studie (retrospektiv)	Journal article (Mund-Kiefer-Gesichtschir.)
12	A comparison of the donor-site morbidity after using the prelaminated fasciomucosal flap and the fasciocutaneous radial forearm flap for intraoral reconstruction	G V Nehrer-Tairyh , W Millesi, O Schuhfried, T Rath	2002	Englisch	Klinische Studie (retrospektiv)	Journal article (Br J Plast Surg)

Tabelle 2:

Nr.	Verfahren	Patientenkollektiv	Sonstiges (Ergebnisse)	Wundgröße	Vorbehandlung Wunde	Heilungsdauer	Ästhetik	Funktion
1	<i>ulnar-based transposition flap</i> (UBTF) im Vgl. STSG + Splint	44 Pat. 22:22	UBTF: -2 Pat. partielle Nekrose Griffstärke, Sensitivität, VAS funkt./ ästh. für nicht-operierten Arm sign. besser, jedoch keine sign. Unterschiede UBTF/STSG	UBTF: 19,8cm ² STSG: 22,9cm ²	Keine	Keine Angaben	UBTF leicht besser als STSG (stat. nicht sign.), jedoch mehr hypertrophe Narben (3 zu 1 Pat.) (Quantitativ)	UBTF besser als STSG (stat. nicht sign.) UBTF: Extension sign. besser (56.0° nicht-OP Arm/62.0° OP Arm STSG: Extension (59.0° nicht-OP Arm/58.4° OP Arm (Quantitativ)

2	„local hatchet flap“	45 Pat. Bei Follow-up: 31 Patienten	19 Patienten: postoperative Komplikationen (Epidermolyse, Wunddehiszenzen, Nekrose, Kälteintoleranz)	37,7 cm ² (Breite: 7,6 cm Länge: 4,7 cm)	keine	Keine Angaben	Gut (Quantitativ)- mit der Zeit wurde Ergebnis besser (VSS): 0.8 (0 bis 5), VAS: 7.8 (0 bis 10).	- Griffstärke reduziert im Vgl. zum dominanten, nicht operierten Arm (5 kg)
3	„bilobed transposition flap“	13 Pat. (Defekte <5cm Länge und <8 cm Breite)	1 Pat. Nekrose partiell (konservativ versorgt)	31,62 cm ² (Breite 6,65 cm Länge 4,7 cm) <i>Pedicle Length:</i> 8-14 cm	keine	Keine Angaben (Laut Autoren vergleichbar mit Standardverfahren)	Gute Farb- anpassung (Qualitativ)	-61,5% Taubheitsgefühl (mild und spontane Verbesserung), Extension reduziert (Quantitativ), -Griffstärke reduziert im Vgl. zu prä-OP (3,86 kg) - gute Funktion
4	„Snake flap“ im Vgl. STSG	18 Patienten mit „Snake flap“ 57 Patienten mit STSG versorgt	STSG: (8 von 57 Sehnenfreilegung), 31,6% verzögerte Wundheilung, 1,8% Lappenverlust <i>Snake flap:</i> 5,6% verzögerte Wundheilung -Keine stat. sign. Unterschiede hinsichtlich Infektionsrate, etc.	Durchschn. Breite: STSG: 7,5 cm <i>Snake flap:</i> 3,3 cm	keine	Keine Angaben	„Snake flap“ keine Farbdifferenzen (Qualitativ)	Gut (Qualitativ)
5	V-förmiges Radialislappen- transplanta- t	20 Pat.	1 Fall limitierte Mundöffnung (bukkaler Krebs) -kleine ischämische und nekrotische Hautpartien (3 Patienten) -Keine Sehnenfreilegung -1 Patient stechende Schmerzen - Aufenthalt im Krankenhaus: 13,85 +/-1,09 Tage	24-30 cm ² (Durchschnitt 26,85 cm ²)	keine	Keine Angaben	Gute Farb- und Narben- ergebnisse (Qualitativ)	5 Pat. eingeschränkte Bewegungsfähigkeit des Handgelenkes (Prä- und postoperativer Vgl.) (Quantitativ)
6	<i>Bipaddle</i> Radialislappen- transplan- tat	11 Pat.	keine	26,4 cm ² -Breite der RFFF max.: 3 cm, -Länge max.12 cm	Keine Subfas- ziale Entnahme	Keine Angaben	Sehr gut (Qualitativ)	Sehr gut (Qualitativ)

7	Schmaler Radialis-lappen	24 Pat.	1 Patient benötigte ein Hauttransplantat	Breite: 2,36+/- 0,41 cm Länge: 13,65+/- 3,98 cm	keine	Keine Angaben	Exzell. (16,6%), Sehr gut (33,3%), Gut (41,6%), Mäßig (8,3%), aufgrund hypertropher Narbe (Quantitativ)	Sehr gut (91,7%), Gut (8,3%) (Quantitativ)
8	Modifizierter Radialis-lappen (schmal und neu angeordnet nach Mateev et al -s. Artikel 9) im Vgl. STSG	30 Pat. Gr. 1: 15 Pat., RFFF suprafaszial und mit STSG gedeckt Gr. 2: 15 Pat., RFFF modifiziert entnommen und direkter Verschluss	Gr. 1: 26% Wundheilungsstörungen Gr. 2: keine Keine Mobilitätseinschränkungen in beiden Gruppen Gr. 1: Taubheitsgefühl 11 Pat. (evtl. durch Breite des RFFF und Verletzung benachbarter radialer Nerven) Gr. 2: Taubheitsgefühl 3 Pat., 5 Pat. Juckreiz, hypertrophe Narben	Breite: Gr. 1: 3,46 cm Gr. 2: 2,94 cm Max. Länge des Stiels: Gr. 1: 12,6 cm Gr. 2: 9,0 cm	keine	Gr. 1: 22.0 Tage Gr. 2: 11.2 Tage	Gr. 2 besser als Gr. 1 (Quantitativ)	Gr. 2 besser als Gr. 1, bessere Heilung in Gr. 2 (Quantitativ)
9	RFFF „shape-modified radial artery perforator flap“	112 Pat.	109 (97,3%) RFFF vollständig eingeheilt - 3 Patienten nekrotisch durch venöse Thrombose-Grund der Deckung waren hierbei Trauma, daher naheliegend, dass eine Schädigung der Gefäße zuvor Ursache für Abstoßung waren	Breite 3-7 cm (☉ 5,12 cm) - je nach Alter und Hautelastizität Länge 8-29 cm (☉ 18,21 cm)	keine	Keine Angaben	42,9 % Exzell., 54,5 % Gut, 2,7 % Mäßig, (Quantitativ) !1 Pat. unzufrieden	Gut, keine Auffälligkeiten (Quantitativ)
10	2-Phasen Therapie: prä-OP Unterlegung der Unterarmhaut durch humane azelluläre dermale Matrix auf Faszie + intra-OP primärer Verschluss	16 Pat.	-alle Pat. mit post-operativer Radiatio oder Chemotherapie -1 Pat. entwickelte Steifheit der Zunge -3 Pat. kleine Bereiche verzögerter Wundheilung -Nachteile: 2. operativer Eingriff, Kosten	47 cm ²	Dermale azelluläre Matrix	Max. 4 Wochen	Ästhetik wegen prim. Verschluss verbessert und keine Unterarmhaare im Mundraum (Qualitativ)	Gut (Qualitativ)

11	2-Phasen Therapie: Präfabrizierter Spalthautfaszienlappen, Unterlegung der Unterarmhaut durch STSG (ca. 0,5 mm) auf Faszie + intra-OP primärer Verschluss (2. OP)	15 Pat.	-gute Einheilung STSG auf Unterarmfaszie -neue RFFF gut formbar und verheilen gut an der Akzeptorstelle -alle Pat. prä-Therapie Radiatio über 6 Wochen + 1 Woche Chemotherapie -1-2 Tage stationär bei 1. Eingriff unter Narkose (2 Wochen prä-OP) -haarlose RFFF, spannungsfreier Verschluss nach Lappenhebung -Keine Ödembildung -Nachteile: 3. Wundfläche, zeitintensiv, kostenintensiv, 2. Eingriff unter Narkose -Bei Lappenhebung: Leichte Schrumpfung der Spalthaut um ca. 10-15%.	Transplantatgröße: 4x5 cm ² bis 6x8 cm ²	STSG epifaszial	Keine Angaben	Gute Ästhetik (Qualitativ)	Gut (Qualitativ)
12	2-Phasen Therapie: Präfabrizierter Mukosa-Faszienlappen im Vgl. Traditionelle RFFF-Entnahme und Deckung mittels STSG	20 Pat. mit präfabrizierter Technik und direktem Verschluss 15 Pat. mit Faszio-kutanem Lappen und indirektem Verschluss	Gr. 1: -2 Pat. reduzierte Beweglichkeit der Hand-einer hiervon mit reduzierter Kraft und milder Hypästhesie Gr. 2: -6 Pat. reduzierte Beweglichkeit der Hand, 5 Pat. reduzierte Kraft, 4 Pat. mit Hypästhesie -3 Pat. mit schmerzhaftem Neurom, 2 Pat. Kälteintoleranz	Keine Angaben	Gr. 1: Bukkale Mukosa epifaszial Gr. 2: Sehnenbedeckung durch umliegendes Gewebe	Gr. 1: 10 Tage Gr. 2: 14 Tage (2 Pat. mit 10-20% Transplantatverlust: Wundheilungsdauer 4-6 Wochen)	Pat. aus Gruppe 2: eher unzufrieden mit ästhetischem Ergebnis (Qualitativ)	Eingeschränkte Handfunktion: Gr. 1: 1 Pat., Gr. 2: 5 Pat. (Quantitativ)

Subgruppe B: Gewebeexpansion

Tabelle 1:

Nr.	Titel	Autor	Publikationsjahr	Sprache	Studiendesign	Studienart/Ort der Veröffentlichung
13	Management of the radial forearm free flap donor site using a topically applied tissue expansion device	James P Bonaparte, Martin J Corsten, Michael Odell, Michael Gupta, Murray Allen, Darren Tse	2013	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.)

14	Tissue expansion using osmotically active hydrogel systems for direct closure of the donor defect of the radial forearm flap	S J Bergé, K G Wiese, J von Lindern, B Niederhagen, T Appel, R H Reich	2001	Englisch	Klinische Studie (prospektiv) Volltext bei Google Scholar	Journal article (Plast Reconstr Surg.)
----	--	--	------	----------	--	--

Tabelle 2:

Nr.	Verfahren	Patientenkollektiv	Sonstiges (Ergebnisse)	Wundgröße	Vorbehandlung Wunde	Heilungsdauer	Ästhetik	Funktion
13	Dyna Close (Tapes) Nicht-invasive Gewebeexpansion min. 7 Tage prä-OP + Gr. 1: prim. Verschluss (27,6%) + Gr. 2: lokales FTSG (67,7%) + Gr. 3: STSG aus Oberschenkel (4,5%)	177 Pat.	19,3% Verlust der Expansionsapparatur -Frauen öfter prim. Verschluss -Restriktion bei sehr straffer Haut 2 von 8 Pat. mit STSG: Sehnenfreilegung 2 von 120 mit FTSG: teilweise Nekrose und 2 totale Nekrose 1 Pat. Allergische Reaktion mit Blasenbildung regio Tapes <i>Flap succes rate</i> MKG: 97,7% Bei ca. 96% der Pat. konnte auf STSG (Oberschenkel) verzichtet werden → lokales FTSG konnte genutzt werden aufgrund vorheriger Expansion	38,9 cm ²	keine	75% Reduktion der Wundheilungsdauer [138] durch dieses Verfahren ○ 7,7 Tage bei allen -Wundheilungsdauer → bei 1) 3,6 Tage → bei 2) 8,7 Tage → bei 3) 13,6 Tage Täglicher Verbandswechsel	Lokales FTSG signifikant besser als STSG von alio loco (Qualitativ)	Gleich wie STSG Schmerz/ Juckreiz: 4,1% 40% Reduktion Schmerz [138]+ Reduktion Kosten (Vgl. STSG) (Qualitativ)
14	Osmotisch aktiver Hdyrogel-expander (Osmed, Illmenau, DE)	10 Pat.	90% genug Haut für prim. Verschluss nach Radialislappenentnahme 2 Patienten zu Beginn Ödeme der Hand + 8 Patienten anfängliche Rötung der Haut 7 von 10 Fälle: Vollnarkose 3 von 10 Fälle: Lokale Anästhesie Eingriffsdauer ca. 20 Minuten	24 cm ²	keine	Keine Angaben	Signifikant besser als STSG (Qualitativ)	Gut (Qualitativ) Druck bei Hautexpansion wurde gut toleriert (unteres Drittel der Schmerzskala)

Subgruppe C: Wundflächenreduktion vor Versorgung der Entnahmestelle nach Radialislappenentnahme

Tabelle 1:

Nr.	Titel	Autor	Publi- kations- jahr	Sprache	Studiendesign	Studienart/Ort der Veröffentlichung
15	Cross-suturing as an aid to wound closure: a prospective randomised trial using the forearm flap donor site as a model	A Moazzam , D J Gordon	2003	Englisch	Randomisierte kontrollierte Studie (prospektiv)	Journal article (Br J Plast Surg)
16	Pursestring closure of radial forearm fasciocutaneous donor sites	C P Winslow, J Hansen, D Mackenzie, J I Cohen, M K Wax	2000	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (The Laryngoscope)

Tabelle 2:

Nr.	Verfahren	Patienten- kollektiv	Sonstiges (Ergebnisse)	Wund- größe ☉	Vor- behand- lung Wunde	Heilungs- dauer	Ästhetik	Funktion
15	Gr. 1: Donor- stelle wurde vor Trans- plan- tation mittels Naht ver- kleinert Gr. 2: STSG	20 Pat. (10:10) -2 aus Gr. 2 starben aufgrund von Kompli- kationen nach der OP	Gr. 1 keine Abstoßung des Transplantates, nur in 2 Fällen leichte Irritationen an Wundrändern Gr. 2: 1 x kompletter und 2 x teilweiser Verlust des Transplantates (alle sekundäre Heilung über Wochen- Monate) → wenn STSG aus Nachbarregion entnommen erhöhte Dauer bei Wundheilung (aus Oberschenkel keine Probleme)	Große Wunde möglich bis zu 264 cm ² Reduk- tion der Wund- fläche von ☉ 53%	Ver- schluss der Wund- ränder partiell vor Haut- trans- plan- tation	Keine Angaben	Gut (Quali- tativ)	Keine Unter- schiede (Quali- tativ)
16	Donor- stelle wurde vor Trans- plan- tation (STSG) mittels Naht ver- kleinert	67 Pat.	9% teilweise Lappenverlust (weniger als in der Literatur beschrieben laut Autoren)	61 cm ² → nach Naht Wund- fläche 34 cm ² übrig (Reduk- tion um 44,5%)	Ver- schluss der Wund- ränder partiell vor Haut- transplant ation	Keine Angaben	Besser als Stan- dard- ver- fahren (Quali- tativ)	Keine Unter- schiede (Quali- tativ)

Subgruppe D: Allogene, xenogene und alloplastische Transplantate

Tabelle 1:

Nr.	Titel	Autor	Publi- kations- jahr	Sprache	Studiendesign	Studienart/Ort der Veröffent- lichung
17	Functional and cosmetic outcome after closure of radial forearm free flap donor defect with porcine collagen membrane	Soo-Hwan Byun, Kang-Min Ahn, Soung-Min Kim, Jong-Ho Lee	2016	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Journal of Cranio-Maxillfacial Surgery)
18	Use of amniotic membrane for radial forearm free flap donor site coverage: clinical, functional and cosmetic outcomes	Stefan Hunger, Lukas Postl, Raphael Stehrer, Lukas Hingsammer, Stefan Krennmair, Wolfgang Feistl, Michael Malek, Gerald Krennmair	2020	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Clin. Oral Investing.)
19	Reconstruction of the radial forearm free flap donor site using integra artificial dermis.	Ryan C Murray MD, Eli A Gordin MD, Kapil Saigal MD, Douglas Leventhal MD, Howard Krein MD, Ryan N. Heffelfinger MD	2011	Englisch	Klinische Studie (retrospektiv)	Journal article (Microsurgery)
20	Acellular dermal composite allografts for reconstruction of the radial forearm donor site	Norman M Rowe, Luc Morris, Mark D Delacure	2006	Englisch	Klinische Studie (retrospektiv)	Journal article (Ann.Plast. Surg.)
21	Double-layered collagen graft to the radial forearm free flap donor sites without skin graft	Tae-Jun Park, Hong-Joon Kim, Kang-Min Ahn	2015	Englisch	Klinische Studie (retrospektiv)	Journal article (Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery)
22	Use of AlloDerm for coverage of radial forearm free flap donor site	Uttam K Sinha, Charles Shih, Kristi Chang, Dale H Rice	2002	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Laryngoscope)
23	Evaluation of the advantages of Integra for covering Chinese flap graft donor sites: a series of 10 cases	Franck Duteille, Pierre Perrot, Michel Pannier, Laurent Hubert	2004	Englisch	Fallstudie	Journal article (Plastic and reconstructive Surgery)
24	AlloDerm with split-thickness skin graft for coverage of the forearm free flap donor site	Jacob L Wester, Amy L Pittman, Robert H Lindau, Mark K Wax	2014	Englisch	Klinische Vergleichs- studie (prospektiv)	Journal article (Otolaryngol Head Neck Surg)
25	The Use of Dermal Substitutes for Donor Site Closure After Radial Forearm Free Flap Harvesting	Vincenzo Abbate, Giorgio Iaconetta, Lorenzo Sani, Paola Bonavolontà, Alessandro E Di Lauro, Stefania Masone, Luigi Califano, Giovanni D A Orabona	2020	Englisch	Klinische Vergleichs- studie (retrospektiv)	Journal article (Craniofac Surg)
26	MatriDerm Decreases Donor Site Morbidity After Radial Forearm Free Flap Harvest in Transgender Surgery	William Watfa, Pietro G di Summa, Joaquim Meuli, Wassim Raffoul, Olivier Bauquis	2017	Englisch	Klinische Vergleichs- studie (prospektiv)	Journal article (J Sex Med)

27	Long-term follow-up of donor site morbidity after defect coverage with Integra following radial forearm flap elevation	Anna Wirthmann, Juliane C Finke, Pietro Giovanoli, Nicole Lindenblatt	2014	Englisch	Therapeutische Studie (prospektiv)	Journal article (Eur J Plast Surg)
28	Use of the artificial dermis for free radial forearm flap donor site	Jong-Wook Lee, Young-Chul Jang, Suk-Joon Oh	2005	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Ann Plast Surg)
29	Comparative Skin Evaluation After Split-Thickness Skin Grafts Using 2 Different Acellular Dermal Matrices to Cover Composite Forearm Defects	Myung Chul Lee, Yong Jun Jang, In Sik Yun, Dae Hyun Lew, Won Jai Lee	2017	Englisch	Klinische Studie (retrospektiv)	Journal article (J Hand Surg Am)

Tabelle 2:

Nr.	Verfahren	Patientenkollektiv	Sonstiges (Ergebnisse)	Wundgröße \ominus	Vorbehandlung Wunde	Heilungsdauer	Ästhetik	Funktion
17	Allogenes Transplantat (kollagene Membran) vom Schwein	10 Pat.	Keine negativen Effekte	27,75 +/-3,08 cm ²	keine	\ominus 1 Monat (bis zu 12 Wochen)	Gut (Quantitativ-VAS: 7.65± 0.46/10)	Gut, keine Einschränkungen der Beweglichkeit (Quantitativ)
18	Amniotische Membran	23 Pat. (2 lost to follow-up) somit 21 Pat. für 12 Mon. begleitet	Wundinfektionen (4x), Serom (1x), Entzündung (1x) Hyposensibilität des Daumens in 76.2% kein Transplantatverlust !2 operative Eingriffe	Breite max. 5 cm Länge max. 7 cm	-Verkleinerung der Wunde durch Naht -Verband täglicher Wechsel bis Sehne und Wundbett ausreichend granuliert sind (ca. 31 Tage)	73,9% < 3 Mon. 26,1% leicht verlängert (3-6 Mon.) - Aufgrund von Wundheilungsstörungen \ominus Wundheilung aller: 62,5 +/-9,3 Tage	Gut (Quantitativ: VSS 3.74 ± 2.18) Hoher BMI: neg. Effekt Anti-hypertensiva positive Effekte auf Ästhetik	Sehr gut (Quantitativ)
19	Integra (boviner Kollagenbasierter dermaler Ersatz) + Anschließend sehr dünnes Hauttransplantat (STSG)	29 Pat.	!2 operative Eingriffe ! Kosten Integra 1000-3000 Dollar je nach Größe 3 von 29 (10,3%) kein STSG aufgrund Allgemeiner Anamnese → Resultat: hypertrophe Narbenbildung	109,3 cm ² +/- 59,1cm ²	Integra nach RFF Entnahme sofort: nach 28,2+/- 12,4 Tagen (1-5 Wochen) 2. OP und STSG	8-16 Wochen	Sehr gut (ähnlich FTSG), geringe Narbenkontraktion (Qualitativ)	2 Patienten Hypästhesie, 1 Pat. Sehnenfreilegung (leichte Tendenz zu weniger Komplikationen und

	Partiell mit V.A.C. oder Wundverband post-OP versorgt				Transplantation, nach Integra V.A.C (8 von 26) für 6 Tage			schnellere Heilung bei V.A.C.-Gruppe) (Qualitativ)
20	Kompositransplantat aus azellulärer dermaler Matrix von Leichen (AlloDerm) und STSG	23 Pat.: 18 dermales Allograft + sehr dünnes STSG (0.0080 inch) zeitgleich 5 in Kontrollgruppe STSG vom Oberschenkel (nicht meshed, 0.014–0.016 inch) (6 Pat. aus Gr. 1 und 2 Pat. aus Gr. 2 lost to follow-up)	Gruppe Allograft größere Patientenzufriedenheit Gruppe STSG zeigten alle Komplikationen bei der Wundheilung	≈ 46,42 cm ²	Gruppe 1: V.A.C. max. 75 mmHg (12 Pat.) und andere Patienten Verband 3-5 Tage Gruppe 2: 3-5 Tage Verband	Keine Angaben	Gruppe AlloDerm besser als Gruppe 2 (Qualitativ)	Kontrollgruppe: 33% der Patienten mit Verlust der Funktionalität 67% mit Parästhesie Gruppe AlloDerm: Funktion vergleichbar mit kontralateralem Arm (außer 1 Patient) (Quantitativ)
21	Doppelschichtiges Kollagen-transplantat (MatriDerm) ohne weiteres Transplantat wie STSG + Terudermis	22	-Narbengröße auf 36,1% der Anfangsgröße (Wundfläche) reduziert -keine sek. Wunde, weniger Wundkontraktion -verzögerte Wundheilungsdauer -Kosten für MatriDerm: 4,5\$/cm ² (in dieser Studie also Kosten zw. 90 und 216 \$) + Kosten Terudermis - sekundäre Wundheilung	31 cm ²	keine	1.5 – 3 Monate (Wundheilung je nach Defektgröße)	Gut (Qualitativ)	Gut 1 Pat. Sehnenfreilegung (Qualitativ)
22	Azell. Humane dermale Matrix (AlloDerm) 800-900 Mikrometer	52 Pat.	5 von 52 Seroma - konservativ behandelt Kein weiteres STSG	55 cm ²	Warme anti-biotische Lösung	2-3 Monate (Wundheilung komplett je nach Defektgröße)	Leichte Narbenkontraktion, sonst gut (Qualitativ)	Gut (Qualitativ)

23	Integra	10 Pat.	9 von 10 Fälle Heilung, 1 Fall (Raucher, wenig diszipliniert-kam nicht mehr) 2 Patienten benötigten ein zusätzliches epidermales Hauttransplantat aufgrund partiellem Transplantatverlust	Keine Angaben	Keine (nur wenn Integra + Epidermales Transplantat: Integra anfrischen)	4,8 Wochen (4-7 Wochen)	Gut-Sehr gut (0-10 10= exzellent): Pat. > 8,9, Arzt >7.3 (Quantitativ)	Gut (Vergleich mit kontralateralem Arm) (Quantitativ)
24	AlloDerm + STSG (bis auf 4 STSG, alle vom Unterarm entnommen) im Vgl. STSG (87 Oberschenkel, 79 Unterarm) allein	80 (A+S) 166 (S)	Gruppe A+S: - 5% partieller und 5% totaler Verlust des Transplantates -Donorstellenmorbidity: 27,5% Gruppe STSG: - kein partieller und 3% totaler Verlust des Transplantates - größere STSG Entnahmestelle - Donorstellenmorbidity: 23,5% - nach vollständigem Verlust bei 3 von 5 Pat. neues Transplantat notwendig (bei A+S nicht notwendig) → weitere Komplikationen (Sehnenfreilegung, kompletter STSG-Verlust, Infektionen, Parästhesie, Hämatome) ergaben keine signifikanten Unterschiede zw. beiden Gruppen	Gruppe A+S: 60 cm ² , STSG Größe 24 cm ² Gruppe STSG: 54cm ² , STSG Größe 40cm ²	Gruppe A+S: Alloderm Wundflächenabdeckung: Xeroform (Covidan, Masfield, Massachusetts), Gaze und ein Splint genutzt	-Unkomplizierte Defekte ca. 5 Wochen bei beiden Gruppen (!schneller als andere Studien mit Angaben zu NUR AlloDerm)[10 0] → Bei Komplikationen: 11 Wochen bei A+S 16 Wochen bei S allein Und die Splinte müssen für 1 Woche mehr getragen werden	Ästhetik Gruppe A+S besser als nur STSG Chirurg: (3.5/5 vs. 2.6/5) und Patient: (3.7/5 vs. 2.9/5) (Quantitativ)	Beide gut leichte Vorteile für Gruppe A+S (Qualitativ) → nach totalem Transplantatverlust benötigte A+S Gruppe im Gegensatz zu nur STSG kein 2. Transplantat
25	MatriDerm + STSG im Vgl. STSG	18 Pat.	STSG: 2 Pat. Wunddehiszenzen M+S: 1 Pat. Keloidbildung regio Narbe, 1 Pat. Dislokation Matrix	Keine Angaben	MatriDerm in M+S Gruppe	Keine Angabe	M+S besser als nur STSG (Quantitativ)	M+S besser als nur STSG (Quantitativ)
26	MatriDerm + STSG (0.2 mm) im Vgl. FTSG aus Leiste allein (zuvor entfettet)	37 (Transgender-Patienten) 8 Pat.: FTSG 29 Pat.: M+S	Alle Transplantate sind verheilt-ohne Nekrosen Komplikationen: - Hämatome bei einem Patienten (M+S Gruppe) - 1 Patient (FTSG) partielle Wundheilung	M+S: 189± 6.75 cm ² FTSG: 163± 12.4 cm ²	Annäherung der Muskelbäuche bei allen In Gruppe M+S: MatriDerm und "Fibrin glue" (Artiss, Baxter Healthcare	Keine Angaben FTSG: Druckverband 1 Woche auf Donorstelle M+S: alle Wundflächen V.A.C.	-M+S Gruppe besser (stat. sign.) als FTSG (2 hypertrophe Narben) (Quantitativ)	- 35 Pat. (94.6%) temperaturunempfindlich -stat. bessere Sens. bei M+S -M+S Gruppe besser als FTSG - Kein Trans-

					Corp., Westlake Village, CA, USA) wurde auf das STSG gesprüht	(KCI, San Antonio, TX, USA) für 1 Woche (125 mmHg)		plantatverlust, Sehnenfreilegung, Bewegungseinschränkung (Quantitativ)
27	Integra + STSG (vom Oberschenkel)	13 Pat. 2-Phasen-Eingriff (nach 3 - 4 Wochen 2. Eingriff)	1 Pat. verlängerte Wundheilung 3 Pat. unzufrieden mit Narbenformation 2 Pat. Kälteintoleranz 2 Pat. wiederkehrende Ulzerationen	Keine Angaben	Wundverkleinerung durch Naht, anschließend Integra	-3Wochen nach Integra -4Wochen Wundheilungsdauer nach STSG (1 Pat.: 9Wochen)	Gut. Resultate (VSS 4,2) (Quantitativ)	Gut (keine Sehnenadhäsion, gute Mobilität der Hand) (Quantitativ)
28	Teru-dermis + STSG	13 Pat. 2-Phasen-Eingriff (nach ca. 15 Tagen 2. Eingriff)	2 Pat. partieller Verlust der Teru-dermis (vernachlässigbar) Weniger Donorstellenmorbidity am Oberschenkel nach STSG Entnahme (dünn)	49 cm ² -144cm ² (115,4 cm ²)	Artifizielle und xenogene Dermis (Teru-dermis)	-Prim. Heilung Teru-dermis 15 Tage -Anheilung des STSG 7 Tage -Nach 6 Monaten finales Ergebnis mit Funktionalität und Farbgebung erzielt	Ergebnisse ähneln FTSG (Farbgebung tend. besser) (Qualitativ)	Gut (Qualitativ)
29	1) <i>cadaveric acellular dermal matrix</i> (CDM) +STSG 2) <i>bovine acellular dermal matrix</i> (BDM-Matri-Derm) +STSG 3) Nur STSG	72 Patienten 1) 29 Pat. 2) 20 Pat. 3) 23 Pat. 1-zeitiges Verfahren	Alle 3 Gruppen weniger Hautfeuchtigkeit als normale Haut (jedoch weniger transepidermaler Wasserverlust in Gr. 1 als Gr. 3) In allen 3 Gr. Fälle von partiellem Transplantatverlust (heilten sekundär ohne weitere Probleme)	Gr. 1: 51.4 cm ² (31.6-72.4) Gr. 2: 52 cm ² (21-90.6) Gr. 3: 54.7 cm ² (30-78.5)	Bedeckung freiliegender Sehnen mit Muskular, <i>Purse-string</i> (Nahttechnik) zur Wundflächenverkleinerung, in Gruppe 1 und 2: ADM (CDM oder BDM)	14 Tage Überknüpfverband und Ruhigstellung für 2 Wochen	Gr. 1+3: Dunklere und rötlichere Farb-ergebnisse im Vgl. zu Umgebung Gr. 2: Gute Farbanpassung Gr. 1+2: ästhetisches Ergebnis besser (Quantitativ)	Gr. 1+2: bessere Hautelastizität als Gr. 3; Gr.2>Gr.1 → somit gute Beweglichkeit Gr. 3: weniger Hautelastizität (Quantitativ)

Subgruppe E: Vakuum assistierter Wundverschluss (V.A.C.)

Tabelle 1:

Nr.	Titel	Autor	Publi- kations- jahr	Sprache	Studiendesign	Studienart/Ort der Veröffent- lichung
30	Donor-site morbidity after harvesting of radial forearm free flaps-comparison of vacuum-assisted closure with conventional wound care: A randomized controlled trial	Dirk Halama, Ruth Dreilich, Bernd Lethaus, Alexander Bartella, Niels Christian Pausch	2019	Englisch	Randomisiert kontrollierte Studie (prospektiv)	Journal article (Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery)
31	Management of the radial forearm free flap donor site with the vacuum-assisted closure (VAC) system	Brian T Andrews, Russell B Smith, Kristi E Chang, Joseph Scharpf, David P Goldstein, Gerry F Funk	2006	Englisch	Klinische Studie (retrospektiv)	Journal article (The Laryngoscope)
32	A randomized, prospective, controlled study of forearm donor site healing when using a vacuum dressing	Eugene G Chio, Amit Agrawal	2010	Englisch	Randomisiert kontrollierte Studie (prospektiv)	Journal article (Otolaryngology-Head and Neck Surgery)
33	Treatment of the donor site of free radial flaps: vacuum sealing versus conventional wound care	Michael Koch, Kavan Jalyzadaa, Philipp Grundtner, Heinrich Iroa, Claudia Scherla, Ulrich Harreusband, Julian Künzel	2017	Englisch	Klinische Studie (retrospektiv)	Journal article (Acta Oto-Laryngologica)
34	Miniature Negative Pressure Dressings on Forearm Donor Sites after Radial Forearm Flap Harvest	Ray E, Mitchell S L, & Cordeiro P G	2018	Englisch	Klinische Studie (retrospektiv)	Journal article (Global Open)
35	Donor site morbidity following radial forearm free flap reconstruction with split thickness skin grafts using negative pressure wound therapy	Jessica M Clark, Shannon Rychlik, Jeffrey Harris, Hadi Seikaly, Vincent L. Biron, Daniel A O'Connell	2019	Englisch	Randomisiert kontrollierte Studie (prospektiv)	Journal article (Journal of Otolaryngology - Head and Neck Surgery)
36	A comparison of negative-pressure dressings versus Bolster and splinting of the radial forearm donor site	D Macy Vidrine, Steven Kaler, Eben L Rosenthal	2005	Englisch	Klinische Vergleichsstudie (retrospektiv)	Journal article (Otolaryngol Head Neck Surg)

Tabelle 2:

Nr.	Verfahren	Patientenkollektiv	Sonstiges (Ergebnisse)	Wundgröße	Vorbehandlung Wunde	Heilungsdauer	Ästhetik	Funktion
30	Vgl. FTSG aus der Leiste + V.A.C. (7 Tage) oder FTSG + konventioneller Druckverband (12 Tage)	50 Pat. (25:25)	Nachteile: V.A.C. zeitintensiver zum Anbringen, vermehrte Kontrollen, teurer (bis zu 5x höhere Kosten) Vorteile: Verbesserte Perfusion, weniger anfällig für Infektionen, Schmerzminderung, beschleunigte Wundheilung	43,1cm ²	keine	Keine Angaben: schnellere Reduktion der Defektgröße V.A.C.-Gruppe (stat. nicht sign.)	Gut (Qualitativ)	Bessere Handgelenksmobilität (stat. nicht sign.), Griffstärke V.A.C.-Gruppe schneller zurück (stat.sign.) (Quantitativ)
31	STSG (0.016-0.018 inches) vom Oberschenkel + V.A.C. unterschiedlich lange Applikation	34 Pat. -14 Pat. V.A.C. > 6Tage -20 Pat. V.A.C. für 5 Tage	V.A.C. für mind. 6 Tage: keine Sehnenfreilegung V.A.C. für 5 Tage: 11 von 20 (55%) kleine Bereiche der Sehnenexposition (<2 cm) nach 1-3 Monaten	Keine Angaben	Nach Möglichkeit Deckung der Wunde mit benachbartem Weichgewebe vor STSG Transplantation Nach Eingriff: Splint	Patienten mit Wundheilungsstörungen (V.A.C. < 6 Tage: durchschnittliche Wundheilungsdauer von 10 Wochen)	Keine Angaben	Keine Angaben
32	STSG (0.012 inch vom Oberschenkel) + a) V.A.C. ohne Splint (NPD-6Tage, -125 mmHg) im Vgl. b) Druckverband + Splint (SPD)	54 Pat. 27:27 (4 aus V.A.C.-Gruppe lost to follow up) -erste Kontrolle nach 2 Wochen -zweite Kontrolle nach 1 Mon. (32 Pat.: 16:16) → Rest lost to follow up	- Anteil an Transplantatverlust (4.5% SPD vs. 7.2% NPD): stat. nicht sign. -Wundgröße bis 50 cm ² : Komplikationen 27.3% (3/11) -Wundgröße 51-100 cm ² : Komplikationen in 45.2% (14/31) -Wundgröße 100 cm ² : Komplikationen in 50 % (3/6). → d.h. vermehrt Komplikationen bei größeren Wunden- stat. nicht sign. -50% Pat. mit Komorbiditäten: Komplikationen (8/16) -32.4% Pat. ohne Komorbiditäten (im Vgl. stat. nicht sign.)	SPD vs. NPD (69.3 cm ² vs. 72.9 cm ²)	Keine Vorbehandlung	Keine Angaben	Keine Angaben	Keine Angaben - 1. Kontrolle Wundheilungsstörungen: (44.4% [12/27] SPD, 30.4% [7/23] NPD): stat. nicht sign. - 2. Kontrolle Wundheilungsstörungen (68.8% [11/16] SPD und 80% [12/15] NPD) stat. nicht sign.

33	<p>FTSG vom Oberschenkel +</p> <p>a) V.A.C. (7 Tage, -125 mmHg)</p> <p>im Vgl.</p> <p>b) Druckverband (SPD)</p> <p>Splint in beiden Gruppen genutzt</p>	<p>138 Patienten (55 konventionell: 83 V.A.C.)</p>	<p>- Wundheilungsstörungen (V.A.C.): 50.6%</p> <p>- Wundheilungsstörungen (konventionell): 32.7% (stat. nicht sign.)</p> <p>-Schwerwiegende Komplikationen: V.A.C.: 15,7%, SPD: 12,7%</p> <p>-Komorbiditäten haben keinen Einfluss auf Komplikationsrate</p> <p>-Kosten V.A.C. 5x höher</p> <p>- Infektionen und Serombildung nur in V.A.C.- Gruppe</p> <p>-Wundgröße hatte keinen Einfluss auf Häufigkeit von Wundheilungsstörungen in beiden Gruppen</p>	<p>V.A.C.: Breite 6.0 cm Konventionell: Breite 6.5 cm</p> <p>Länge in beiden Gruppen 10 cm</p> <p>Jedoch nicht alle Wundflächen hierbei berücksichtigt</p>	Keine Vorbehandlung	Keine Angaben	Keine Angaben	Keine Angaben
34	<p>STSG 0.013 inch (Oberschenkel) +</p> <p>a) Druckverband</p> <p>im Vgl.</p> <p>b) Mini-V.A.C. (PICO, 7 Tage, -80 mmHg)</p> <p>Splint in beiden Gruppen genutzt (5 Tage)</p>	<p>20 Pat. 10:10</p>	<p>Konventionell:</p> <p>-5 Patienten partieller Transplantatverlust (6,2 cm²)</p> <p>-2 Patienten mit Sehnenfreilegung</p> <p>-1 Patient mit Wundinfektion</p> <p>PICO:</p> <p>-4 Patienten partieller Transplantatverlust (2,8cm²) → hiervon 1 Pat. mit Sehnenfreilegung</p> <p>Keine stat. Signifikanzen</p>	<p>SPD: Donorstelle 28 bis 80 cm² (Durchschnitt: 51.7 cm²)</p> <p>PICO: Donorstelle 28 bis 80 cm² (Durchschnitt: 45.6 cm²)</p>	Keine Vorbehandlung	Keine Angaben	<p>V.A.C zu Beginn bessere Ästhetik</p> <p>Druckverband hinterlässt tiefe Abzeichnungen (Qualitativ)</p>	Keine Angaben
35	<p>STSG vom Oberschenkel (0.016 inch) +</p> <p>a) PICO (-80 mmHg) ohne Splint</p> <p>im Vgl.</p> <p>b) Druckverband mit Splint</p>	<p>24 Pat. 12:12</p>	<p>Keine Unterschiede hinsichtlich des Auftretens von Wundheilungsstörungen:</p> <p>SPD (50% kleinere Komplikationen) Und NPD (45% kleinere Komplikationen)</p>	<p>SPD: 87.9 cm² NPD: 70.7 cm²</p>	keine	Keine Angaben	Keine Unterschiede hinsichtlich Ästhetik (Qualitativ)	<p>→ 7 Tage post-OP:</p> <p>- Pat. mit PICO subjektiv bessere Funktionalität (Handfunktion Alltag, Schmerz, Ästhetik, Zufriedenheit)</p> <p>-nach 1 und 3 Mon. keine sign.</p>

								Unterschiede -Flexion in NPD-Gruppe besser -Griffstärke, Empfindlichkeit und Bewegung waren in beiden Gruppen ähnlich (Quantitativ)
36	STSG + a) V.A.C im Vgl. b) Druckverband mit Splint jeweils 4-6 Tage	45 Pat. 25 Pat. Druckverband und Splint 20 Pat. mit V.A.C	Nach 4 Wochen: STSG-Heilung war in der V.A.C.-Gruppe (92%) im Vergleich zum Druckverband (81%) verbessert Die Transplantatverluste bei V.A.C. (10%) geringer als bei konventioneller Gruppe (28%) V.A.C. aber höhere Kosten	V.A.C.: 59 cm ² SPD: 56 cm ²	Keine Vorbehandlung	Keine Angaben	Keine Angaben (Qualitativ)	Pat. kann in V.A.C.-Gruppe die Hand früher mobilisieren (Qualitativ)

Subgruppe F: Nahlappenplastik (Lokale Lappenplastik)

Tabelle 1:

Nr.	Titel	Autor	Publikationsjahr	Sprache	Studiendesign	Studienart/Ort der Veröffentlichung
37	Local full-thickness skin graft of the donor arm--a novel technique for the reduction of donor site morbidity in radial forearm free flap	B Riecke, A T Assaf, M Heiland, A Al-Dam, A Gröbe, M Blessmann, J Wikner	2015	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Int J Oral Maxillofac Surg)
38	Closure of the Radial Forearm Free Flap Donor Site Using the Combined Local Triangular Full-Thickness Skin Graft	Manuel Moreno-Sánchez, Raúl González-García, Luis Ruiz-Laza, Damián Manzano Solo de Zaldivar, Carlos Moreno-García, Florencio Monje	2016	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (J Oral Maxillofac Surg)
39	Ipsilateral full-thickness forearm skin graft for covering the radial forearm flap donor site	Keisuke Shiba, Yumiko Iida, Tsutomu Numata	2003	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Laryngoscope)

40	Radial forearm free flap surgery: a modified skin-closure technique improving donor-site aesthetic appearance	L Giordano, S Bondi, F Ferrario, B Fabiano, M Bussi	2012	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Acta Otorhinolaryngol Ital)
41	Comparative study of the ipsilateral full thickness forearm skin graft in closure of radial forearm flap donor site defects	P A Chambers, L Harris, D A Mitchell, A M Corrigan	1997	Englisch	Klinische Studie (retrospektiv)	Journal article (Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery)
42	Functional and cosmetic donor site morbidity of the radial forearm-free flap: comparison of two different coverage techniques	Markus Pirlich, Iris-Susanne Horn, Christian Mozet, Mandy Pirlich, Andreas Dietz, Miloš Fischer	2018	Englisch	Klinische Vergleichsstudie (retrospektiv)	Eur Arch Otorhinolaryngol
43	Prospective biomechanical evaluation of donor site morbidity after radial forearm free flap	Björn Riecke, Carsten Kohlmeier, Alexandre T Assaf, Johannes Wikner, Anna Drabik, Philip Catalá-Lehnen, Max Heiland, Carsten Rendenbach	2016	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Br J Oral Maxillofac Surg)
44	Primary closure of radial forearm flap donor defects with a bilobed flap based on the fascio-cutaneous perforator of the ulnar artery	Ching-Hua Hsieh, Yur-Ren Kuo, Sheng-Fa Yao, Chi-Cheng Liang, Seng-Feng Jeng	2004	Englisch	Fallstudie (prospektiv)	Journal article (Plast Reconstr Surg)
45	Reconstructing Forearm Free Flap Donor Sites Using Full-Thickness Skin Grafts Harvested from the Ipsilateral Arm	Natalie A Krane, Alia Mowery, James Azzi, Daniel Petrisor, Mark K Wax	2020	Englisch	Klinische Vergleichsstudie (retrospektiv)	Journal article (Otolaryngol Head Neck Surg)
46	Closure of the donor site of the free radial forearm flap: a comparison of full-thickness graft and split-thickness skin graft	J Michiel Zuidam, J Henk Coert, Stefan O P Hofer	2005	Englisch	Klinische Vergleichsstudie (retrospektiv)	Journal article (Ann Plast Surg)
47	Closure of radial forearm free flap donor site defect with a local meshed full-thickness skin graft: a retrospective study of an original technique	Abbas Karimi, Pierre Mahy, Hervé Reyhler	2007	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	(Journal article) J Cranio-maxillofac Surg.
48	Closure of radial forearm free flap donor site: A comparative study between keystone flap and skin graft	Pauline Potet, Guillaume De Bonnezeze, Emilien Chabrilac, Agnès Dupret-Bories, Sébastien Vergez, Benoit Chaput	2020	Englisch	Klinische Studie (retrospektiv)	Journal article (Head Neck)

49	Repair of Donor Site Defects After Forearm Free Flap Harvest with Dual Triangular Flaps and in Situ Small Full-thickness Skin Flaps	Lin Yao, Zhang Deng, Mengmeng Guo, Wei Zeng, Lin Yao	2020	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (J Craniofac Surg.)
50	Hinged Forearm Split-Thickness Skin Graft for Radial Artery Fasciocutaneous Flap Donor Site Repair	Kofi Boahene, MD; Jeremy Richmon, MD; Patrick Byrne, MD; Lisa Ishii, MD, MHS	2011	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Arch Facial Plast Surg)

Tabelle 2:

Nr.	Verfahren	Patientenkollektiv	Sonstiges (Ergebnisse)	Wundgröße \ominus	Vorbehandlung Wunde	Heilungsdauer	Ästhetik	Funktion
37	Lokales FTSG mit anschließendem direktem Wundverschluss + Druckverband 10 Tage + Silikon-drainage	30 Patienten	Entnahmestelle FTSG und RFFF heilten problemlos und ohne Funktionseinschränkungen bei 29 Patienten -primärer Wundverschluss bei allen Patienten – -keine 2. Donorstelle oder 2. OP	25 +/- 8,4 cm ²	Keine	12+/- 2,4 Tage	Hohe Pat-zufriedenheit bzgl. Schmerz und Ästhetik (Qualitativ)	-Hohe Pat.zufriedenheit -1 Patient: 15 Tage post-OP Bildung von Serom unterhalb des Transplantates (Qualitativ)
38	Lokales Dreieckförmiges FTSG + Splint (10 Tage)	100 →66% Raucher 27% arterielle Hypertonie 12% Diabetes mellitus Typ 2	Partieller Transplantatverlust: 7% Kleine Flächen mit Wunddehiszenzen: 5% Sehnenfreilegung: 2% ABER: diese Fälle ohne funkt. Einschränkungen	15 - 70 cm ² Durchschnitt: 24,5cm ²	Keine	2-3 Wochen (1 Pat. 2 Mon.)	Exzellente: 87%, Gut: 11%, Suboptimal: 2% (Quantitativ)	Gut (Qualitativ)
39	Trianguläres FTSG und prim. Verschluss nach FTSG-Entnahme	15 Pat.	Limitierte Wundflächengröße Partieller Transplantatverlust: 4 Fälle	Breite: 3-8 cm Länge: 5-13 cm	Fett und subkutan Gewebe möglichst vom FTSG entfernen	Keine Angaben	Sehr gute Ästhetik (Qualitativ)	Gut (Qualitativ)

40	Modifizierte V-Y Methode („dagger-shaped FTSG“) mit Inzisionen im Vgl. Standard triangulär geformtes FTSG ohne Inzisionen	43 -20 Pat. FTSG in triangulärer Form -23 Pat. modif. FTSG in Form eines Dolches	Neue Technik: weniger Hautspannung, weniger Komplikationen bei besserer Ästhetik Ältere Technik: Mehr Hautspannung, da ein Dreieck ein Rechteck ersetzen soll Maximale Wundfläche: 50 cm ² 8,3% Ersparnis an Transplantat durch modifizierte Form	38,4cm ²	Fett und so viel subkutan Gewebe wie möglich vom FTSG entfernen	Keine Angaben	Modifizierte Technik bessere Ästhetik (stat. relevant) (Quantitativ)	Modifizierte Technik besseres funkt. Ergebnis (Handschwellung, Steifigkeit, Sehnenfreilegung) stat. relevant (Quantitativ)
41	V-Y-Technik: Angrenzend an RFFF	21 Pat. 16: V-Y-Technik (5 STSG aufgrund Defektgröße)	Keine Sehnenfreilegung, keine 2. Donorstelle, 9 Pat. zeitweise Sens.verlust (evtl. im Rahmen der Entfettung ausgelöst), Wundgröße max. 8 x 6 cm ²	Max. 10 x 8 cm ²	FTSG entfettet für leichteren V-Y-Verschluss	Keine Angaben	Sehr gut (Quantitativ)	Keine Einschränkungen (Quantitativ)
42	Direkter Verschluss im Vgl. indirekter Verschluss	39 Pat. (Gr. 1) 18: Indir. Verschluss mit FTSG aus der Leiste (Gr. 2) 21: dir. Verschluss	-Gr. 1 und 2: Revisionen notwendig (je 1 Fall) - Keine Unterschiede hinsichtlich Schmerzen und Juckreiz -Anästhesie notwendig -Gr. 1 keine sek. Donorstellenmorbidity -Gr. 2 mehr Wundheilungsstörung (stat. nicht sign.)	Gr. 1: 30,02 cm ² Gr. 2: 55,73 cm ²	keine	Keine Angaben	Keine sign. Unterschiede in Gr. 1 und 2 an Akzeptorstelle (POSAS Quantitativ) -leichter Vorteil Gr. 1	keine funkt. Unterschiede, jedoch Gr. 2 leichte Nachteile hinsichtlich Beweglichkeit im Alltag (MHOQ-Quantitativ)
43	2-spindel-förmige lokale FTSG + Überknüpfverband (10 Tage) + Silikon-drainage subfaszial + Physiotherapie ab 4.Tag	30 Pat. (10 Pat./ 33%: Radiochemotherapie post-OP)	- 1 Pat.: partieller Transplantatverlust+Sehnenfreilegung nach 12 Tagen -15 Pat.: sensorische Störungen (3 Mon. post-OP) -12 Pat. mit Hypästhesie und 3 Dysästhesie	25 cm ²	Keine	12 Tage	20 (67%): Gut, 8 (27%): Akzeptabel, 2 (7%): Mangelhaft (Quantitativ)	Gut -5 Pat. (17%) subjekt. red. Handstärke -Extension der Hand, außer Abduktion im Vgl. zu non-OP Arm tend. schlechter (Quantitativ)
44	Zweibäuchiger und auf A. ulnaris basierender lokaler Lappen + Splint für 1 Woche	10 Pat.	-alle Lappen haben überlebt -1 Pat. oberflächliche Nekrose, 1 Pat. hypertrophierte Narbe	47 cm ²	Keine	Keine Angaben	Besser als konventionelle Meth. laut Autoren (Qualitativ)	Gut (schnelle Handmobilisation, gute Sehnen-gleitbewegung) (Qualitativ)

45	Lokales FTSG im Vgl. STSG (0.0018 inch) vom Oberschenkel + Splint für 5 Tage	68 FTSG vs. 68 STSG	-Mehr Patienten mit Diabetes in Gruppe FTSG 29% Vgl. STSG 9% -Donorstellenkomplikationen stat. nicht relevant: FTSG 49% vs. 49% (33/68) -stat. nicht signifikant: Lappenverlust > 40% FTSG 4% vs. STSG 4%, Sehnenfreilegung 9% vs. 12%, partieller Lappenverlust 29% vs. 40%, Infektionen 15% vs. 13%, Parästhesie 12% vs. 7%, Hämatome 2% vs. 0%	FTSG: 69.2 cm ² STSG: 56.7 cm ²	Verkleinerung durch <i>Purse-string</i> -Methode (s. Art.16-Winslow)	Keine Angaben	FTSG besseres ästh. Ergebnis als STSG (trotz höherer Inzidenz Diab.) -FTSG keine 2. Donorstelle (Quantitativ)	Beide Gruppen gleich gute funktionelle Ergebnisse subjektive funkt. Einschränkung 0% vs. 2% (Qualitativ)
46	Lokales dreieckiges FTSG (V-Y-Plastik) im Vgl. STSG Innenseite Oberschenkel	34 Pat. (15 STSG, 19 FTSG)	-FTSG: keine Kurzzeit-, aber mehr Langzeitkomplikationen, 1 Pat. mit Hypergranulation und 1 Pat. mit Epidermolypse, Anwendung abhängig von Defektgröße, Probleme beim Sprechen -STSG: 1 Pat. part. Nekrose, 1 Pat. mit Hypergranulation, längeres Andauern von Beschwerden am Oberschenkel -Das Auftreten von Komplikationen war stat. nicht signifikant, nur leicht häufigeres Auftreten bei FTSG	FTSG 26.2 cm ² STSG 40.4 cm ²	Keine	Aufenthalt im Krankenhaus: STSG 18.5 Tage FTSG 14.9 Tage Post-OP Zeit: STSG 25.3 Tage FTSG 26.1 Tage	FTSG und STSG ähnlich FTSG keine 2. Donorstelle (Quantitativ)	Beide Gruppen gleich gute funkt. Ergebnisse -Beweglichkeit, Griffstärke, Gefühl gleich (Bei FTSG Extension reduziert im Vgl. zu STSG) (Quantitativ)
47	Kombination aus Sehenabdeckung, <i>Purse-string</i> und lokalem „ <i>meshed FTSG</i> “	41 Pat.	-16% der Pat.: partielle Nekrose, 36% Hypästhesie regio des Daumens mit einer durchschnittlichen Fläche von 8,9 cm ² (laut Autor evtl. durch unerfahrene Chirurgen), keine Sehnenfreilegung oder Nekrosen	31.7 cm ²	-Vernähen Flexor pollicis longus und Flexor digitorum superf. für flaches, gut vask. Muskelbett -Wundverkleinerung „ <i>Purse-string</i> “	4,68 Wochen Eingriff Verchluss RFFF: 45 min.	VAS (0-10) Pat.: 6, Student: 4,18 Autoren 7,2 (Quantitativ)	Gut, keine Schmerzen (Qualitativ)
48	„ <i>Keystone flap</i> “ im Vgl. STSG	100 Pat. 35 KF 65 SG !1 Patient mit STSG, Transplantatverlust	-Wundheilungsstörungen, Ästhetik und Funktionalität stat. nicht signifikant unterschieden - KF (Spannungen) ist primär schmerzhafter, STSG hinterlässt brennenden	KF 28.7 cm ² STSG 41.1 cm ²	Keine	KF: 14 Tage STSG: 28 Tage	Subj.: 3.46/5 und 3.51/5 in Gruppe KF und STSG.	STSG: Schmerz bei Ruhigstellung ertragbar (VAS 1.4)

		und Sehnenfreilegung hat 15 Tage später KF erhalten	<p>Schmerz an Entnahmestelle</p> <p>-KF: erfolgreiche Wundabdeckung, Wundöffnung (16.7%), 3 Pat. Infektionen, 4 Pat. Entzündungen (11%), 1 Pat. Nahtlockerung</p> <p>Schmerzskala: 0.61/10 7 Pat. (27%) Hyperästhesie (Berührung, Kälte), 1 Pat. (3.8%) neuropathische Schmerzen</p> <p>-Weniger Sehnenfreilegung als Gr. STSG aber höheres Risiko für Kompartment Syndrom</p> <p>STSG: 21 Patienten Wundheilungsstörungen: 16 partielle Nekrosen (24.6%), 9 Pat. Sehnenfreilegung (1 davon erhielt nach 15 Tagen KF), 3 Pat. lokale Infektionen, 59.5% Sens.störungen vs. 34% in Gr. KF.</p> <p>Schmerzskala 1.4/10, 10 Pat. (21%) Hyperästhesie, 1 Pat. (2.1%) neuropath. Schmerzen</p>				<p>Unabhängige Beurteilung: 2.76/5 und 2.70/5, (stat nicht sign.)</p> <p>(Quantitativ)</p>	<p>Wundheilungsstörungen, funkt. Ergebnis ohne stat. Unterschiede</p> <p>Sens.-störungen in KF weniger als STSG: (34.6% vs. 59.5%, P = .049)</p> <p>(Qualitativ)</p>
49	Duales dreieckförmiges Transplantat im Vgl. FTSG aus Bauch	25:10 Patienten	<p>-weniger Risiko von Sehnenfreilegung, Infektionen und bessere Ästhetik (lokales FTSG)</p> <p>-Funktionell keine weiteren Unterschiede</p>	5x4 cm ² min. bis 9x6 cm ² max.	Akzeptorstelle entfetten	keine Angaben	sehr gut, keine Farbunterschiede (Qualitativ)	Sehr gut, keine Bewegungseinschränkungen (Quantitativ)
50	„hinged STSG“ bei Nutzung von part. deepithelialisiertem Radialislappen + V.A.C. (5-7 Tage)	16 Pat.	<p>-keine 2. Donorstelle, 1 Pat. Sehnenfreilegung</p> <p>-cave bis zur Einheilung: dünnes STSG post-OP Phase</p> <p>-cave deepithelialisierte Fläche in Höhlenräumen durch Vernarbungen (Risiko Schlucken und Stenosen)</p>	53,7 cm ²	Wundbettvorbereitung (keine freiliegenden Sehnen)	-Erste Transplantateinheilung > 90% an Tag 7 post-OP	Sehr gut, gute Farbanpassung Unterarm und Mund, wenig Narbenzüge (Qualitativ)	Keine Einschränkungen (Qualitativ)

Subgruppe G: Freie und entfernte Vollhauttransplantation unter Berücksichtigung der Lappenhebung

Tabelle 1:

Nr.	Titel	Autor	Publi- kations- jahr	Sprache	Studiendesign	Studienart/Ort der Veröffent- lichung
51	Closure of the radial forearm free flap donor site defect with a full-thickness skin graft from the inner arm: a preferred technique	Jordan M Kaltman, Shawn A McClure, Eustorgio A Lopez, Fred Pedroletti	2012	Englisch	Klinische Studie (retrospektiv)	Journal article (J Oral Maxillofac Surg)
52	Repair of radial free flap donor site by full-thickness skin graft from inner arm	C M E Avery, M Iqbal, R Orr, J P Hayter	2005	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Br J Oral Maxillofac Surg)
53	Full-thickness skin graft from the groin for coverage of the radial forearm free flap donor site	Theresa B Kim, Kris S Moe, David W Eisele, Lisa A Orloff, Steven J Wang	2007	Englisch	Chart review (retrospektiv)	Journal article (Am J Otolaryngol)
54	Evaluation of the donor site in patients who underwent reconstruction with a free radial forearm flap	Osamu Ito, Hiroharu H Igawa, Shigehiko Suzuki, Gan Muneuchi, Takeshi Kawazoe, Yasumi Saso, Masayuki Onodera, Susam Park, Yuiro Hata	2005	Englisch	Klinische Vergleichs- studie (prospektiv)	Journal article (J Reconstr Microsurg)
55	A Comparison of Full and Split Thickness Skin Grafts in Radial Forearm Donor Sites	Wellington J Davis 3rd, Cindy Wu, David Sieber, Darl K Vandevender	2011	Englisch	Klinische Vergleichs- studie (retrospektiv)	Journal article (J Hand Microsurg)
56	Supra-fascial elevated free forearm flap--indications, surgical technique and follow-up examination of the donor site defect	B S Lutz, S C Chang, S Chuang, F C Wei	1999	Deutsch	Klinische Studie (prospektiv) (Ursprung zu Nr. 66)	Journal article (Handchir Mikrochir Plast Chir.)
57	Repair of the radial forearm flap donor site with a full-thickness graft	M C Gaukroger, J D Langdon, N M Whear, G A Zaki	1994	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Int J Oral Maxillofac Surg)
58	Improvement of the radial forearm donor site by compression with hydrocolloid dressing and adhesive sponge	Hisashi Motomura, Norihiro Ohba, Natsuko Ohashi, Teruichi Harada, Michinari Muraoka, Hiroyoshi Iguchi, Makoto Kusuki, Hideo Yamane	2006	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Acta Otolaryngol)
59	The free radial forearm flap-the management of the secondary defect	A D McGregor	1987	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Br J Plast Surg)

60	Radial forearm free flap donor site outcomes comparison by closure methods	Tang Ho, Marion Couch, Kathryn Carson, Amy Schimberg, Karen Manley, Patrick J Byrne	2006	Englisch	Klinische Kohorten- und Vergleichsstudie (prospektiv)	Journal article (Otolaryngol Head Neck Surg)
61	Radial forearm donor site: comparison of the functional and cosmetic outcomes of different reconstructive methods	Jason Chau, Jeffrey Harris, Peggy Nesbitt, Heather Allen, Jennifer Guillemaud, Hadi Seikaly	2009	Englisch	Randomisierte kontrollierte Klinische Vergleichsstudie (prospektiv)	Journal article (J Otolaryngol Head Neck Surg)
62	Prospective study of the septocutaneous radial free flap and suprafascial donor site	C Avery	2007	Englisch	Klinische Vergleichsstudie (Prospektiv)	Journal article (Br J Oral Maxillofac Surg)
63	Suprafascial Harvest of the Radial Forearm Free Flap Decreases the Risk of Postoperative Tendon Exposure	David C Shonka Jr, Nikita Kohli, Benjamin M Milam, Mark J Jameson	2017	Englisch	Klinische Vergleichsstudie (retrospektiv)	Journal article (Ann Otol Rhinol Laryngol)
64	Functional and esthetic assessment of radial forearm flap donor site repaired with split thickness skin graft	Jong-Ho Lee, Mohammad S Alrashdan, Su-Gon Kim, Jae-Seok Rim, Samir Jabaiti, Myung-Jin Kim, Soung-Min Kim	2011	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Eur Arch Otorhinolaryngol)
65	Donor site morbidity and flap perfusion of subfascial and suprafascial radial forearm flaps: A randomized prospective clinical comparison trial	Claudia Schwarzer, Thomas Mücke, Klaus-Dietrich Wolff, Denys J Loeffelbein, Andrea Rau	2016	Englisch	Randomisierte kontrollierte Studie (prospektiv)	Journal article (J Cranio-maxillofac Surg)
66	Donor site morbidity after suprafascial elevation of the radial forearm flap: a prospective study in 95 consecutive cases	B S Lutz, F C Wei, S C Chang, K H Yang, I H Chen	1999	Englisch	Klinische Studie (prospektiv) Erweiterte Studie zu Nr. 56	Journal article (Plast Reconstr Surg)
67	Limiting donor site morbidity by suprafascial dissection of the radial forearm flap	S C Chang, G Miller, C F Halbert, K H Yang, W C Chao, F C Wei	1996	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Microsurgery)
68	Aesthetic and functional results of harvesting radial forearm flap, especially with regard to hand function	H Toschka, H Feifel, H J Erli, R Minkenberg, O Paar, D Riediger	2001	Englisch	Klinische Studie (retrospektiv)	Journal article (Int J Oral Maxillofac Surg)
69	Assessment of donor-site functional morbidity from radial forearm fasciocutaneous free flap harvest.	M T Brown, M E Couch, D M Huchton	1999	Englisch	Klinische Fallstudie (prospektiv)	Journal article (Arch Otolaryngol Head Neck Surg)

70	Donor-site morbidity of the radial forearm free flap after 125 phalloplasties in gender identity disorder	Gennaro Selvaggi, Stan Monstrey, Piet Hoebeke, Peter Ceulemans, Koen Van Landuyt, Moustapha Hamdi, Bowman Cameron, Phillip Blondeel	2006	Englisch	Klinische Studie (retrospektiv)	Journal article (Plast Reconstr Surg)
71	Donor site morbidity of radial forearm Flaps. A clinical and ultrasonographic evaluation	S Suominen, J Ahovuo, S Asko-Seljavaara	1996	Englisch	Klinische Studie (prospektiv)	Journal article (Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg)

Tabelle 2:

Nr.	Verfahren	Patientenkollektiv	Sonstiges (Ergebnisse)	Wundgröße	Vorbehandlung Wunde	Heilungsdauer	Ästhetik	Funktion
51	FTSG vom inneren Oberarm	25 Pat.	-95,8% komplette Heilung -2 Pat. Wunddehiszenzen am inneren Oberarm -1 Pat. Transplantatabstoßung (Non-Compliant) -keine Sehnenfreilegung, Sensationsstörungen	24 cm ²	Verkleinerung der Wundfläche mittels Naht und Sehnenbedeckung mit dem Flexor digitorum superficialis	Keine Angabe	Gut (Qualitativ): unauffällige Lokalisation am Oberarm gute Farbpassung	Gut (Qualitativ): keine Bewegungseinschränkung an Donor- und Akzeptorstelle
52	FTSG vom inneren Oberarm	63 Pat: -53 FTSG vom Oberarm (85%), -9 STSG, -1 FTSG und STSG (da Fehlkalkulation bzgl. Donorhaut am Oberarm wurde nicht in Studie integriert), -1 Pat. V-Y-Plastik Für Evaluation 37 Pat. mit FTSG	FTSG: Gute Heilung an Donorstelle, außer 2 Wunddehiszenzen V.A.C. postoperativ	49 cm ² : FTSG: 45 cm ² STSG: 76 cm ² V-Y: 11 cm ²	Keine Angabe	Keine Angaben (Nahtentfernung nach 9 Tagen)	FTSG: 23 blass, 11 pink, 3 rot. 21 (57%) keine Pigmentation, 15 (41%) leichte Pigmentation, 1 (3%) moderate Pigmentation. VAS subjektiv Pat. 7.7; Operateur 7,9 (Quantitativ)	FTSG: 20 Narben (54%) weich, 11 (30%) geschmeidig, 4 (11%) nachgebend, 2 (5%) fest. 24 (65%) flach, 13 (35%) erhaben 1-2 mm, keiner 3-4 mm erhaben (Quantitativ)

53	FTSG aus Leiste	40 Pat.	1 Wunddehiszenz regio Leiste 5 kleine Wunddehiszenzen am Unterarm (2 davon Sehnenfreilegung) -ansonsten gute Heilungsergebnisse, hohe Patientenzufriedenheit (Schmerz, Ästhetik, Funktion)	FTSG 8x5 cm ² bis 16x8cm ²	Keine Angaben	3-4 Wochen (1 Pat. 3 Monate)	Sehr gut, hohe Zufriedenheit (Qualitativ)	Sehr gut, keine Sens.-störung (Qualitativ)
54	FTSG aus Leiste + Überknüpfverband (1Woche), Kompressionsbandage 1 Monat, Tapes für 6 Monate	23 Pat.	Gute Wundheilung, hohe Patientenzufriedenheit Erhöhte Pigmentationen und Depression der Wundfläche → dennoch Patientenzufriedenheit	40,32 cm ²	Keine Angaben	Keine Angaben	9 Pat. abnormale Pigmentation 15 Pat. Depression am Unterarm 5 Pat. vergrößerte Narbenbreite Gute Farb-anpassung, unauffällige Narbe (Qualitativ)	Normale Beweglichkeit Part. Hyp-ästhesie 19 Pat. (Qualitativ)
55	STSG (0.012-0.016 inch) aus Oberschenkel im Vgl. FTSG (Leiste>Abdomen ellipsenförmige Entnahme und prim. Verschluss) + Splint	47 Pat. 31: STSG 16: FTSG Für finale Evaluation 18 Pat.: 11 STSG 7 FTSG	Keine Unterschiede hinsichtlich: Sehnenfreilegung, Wundheilungsdauer (Donorstelle), Schmerzen FTSG: Verbandswechsel 70,5 vs. STSG: 47 (stat. signifikant) Jeweils 5 Pat. mit Sehnenfreilegung (keine stat. Signifikanz) Raucher verzögerte Wundheilung	Keine Angaben	Sub-fasziale Entnahme	Donorstelle: STSG: 15 Tage FTSG: 13,6 Tage Akzeptorstelle: STSG: 41,1 Tage FTSG: 55 Tage Stat. nicht sign.	FTSG: bessere Ästhetik und Zufriedenheit (aber stat. nicht sign.) STSG Donorstelle tend. bessere Ästhetik (stat. nicht sign.) (Quantitativ)	Keine Angaben

56	STSG (Ober- schenkel) im Vgl. FTSG (Leiste) + Über- knüpf- verband + Splint (1 Woche)	66 Pat. 54: STSG 12: FTSG 36 Pat. für pros- pektive Evalua- tion	Hohe primäre Heilungsrate 4 Pat. Wundheilungsstörung (3 FTSG, 1 STSG)	74,4 cm ²	Supra- fasziale Lappen- hebung	2 Wochen Bei Wund- heilungs- störungen 4-5 Wochen	97,3% Zufrie- denheit -52,8% Gut -44,5% Mittel- mäßig -2,7% Schlecht (Quanti- tativ)	Greif- kraft, Spitz- griff post-OP nicht vermin- dert Partielle Ein- schrän- kung der Hand- beweg- lichkeit: 2,8% Keine Kälte- intole- ranz Leichte Hyp- ästhesie distal der Ent- nahme- stelle: 59,5% (Zahl rück- läufig) (Quanti- tativ)
57	FTSG (Bauch) + Splint (2 Wochen, danach nächtlich für 1 Woche)	16 Pat.	2 Pat. partieller Transplantatverlust	Keine An- gaben	Keine Angaben	6 Wochen	5 Pat: Dys- pigmen- tierung, sonst gut Ab- domen auf- fällige Region und bei großem FTSG lange Narbe (direkter Ver- schluss) (Quali- tativ)	Keine An- gaben

58	STSG 0.020 inch (FTSG vom Bauch) + 1) Über- knüpf- verband und Splint (10 Tage) + 2) Hydro- colloid- Verband und ad- häsiver Schwamm für Kom- pression (6 Mon.)	12 Pat.	2 Pat. Dermatitis (daher verkürzte Zeit der Nachsorge mit Kompression und Feuchtigkeit)	Keine An- gaben	Keine, nur vor- sichtige RFFF Entnahme	Keine Angaben	1 Pat. hyper- trophe Narbe 1 Pat. Farbun- gleich- heit -sonst exzell- ent (Quanti- tativ)	Keine An- gaben
59	STSG + Splint (in Ex- tensions- haltung für 20 Tage) + ansch- ließende kurze Phase der Physio- therapie	16 Pat.	2 Pat. part. Transplantatverlust	Keine An- gaben	Keine Angaben	Prim. Heilung nach 10 Tagen (Sehne kann noch durch STSG gesehen werden) -nach 20 Tagen nicht mehr ersicht- lich)	Keine spezifi- schen An- gaben	Gut, keine funk- tionellen Einschrän- kungen (Quali- tativ)
60	1) FTSG im Vgl. 2) STSG 0.014- 0.018 inch im Vgl. 3) STSG + AlloDerm	25 Pat. 1) 8 Pat. 2) 10 Pat. 3) 7 Pat.	Alle 3 funkt. und ästh. vergleichbar -STSG ästh. am besten (stat. nicht sign.) → kürzeres <i>follow-up</i> bei Gr. 1+3, dickeres STSG hier genutzt, FTSG mit „ <i>pie- crusting</i> “ (evtl. daher schlechtere Ergebnisse) -STSG leichtere Entnahme, Operateure damit eher vertraut, aber: höheres Risiko Sehnenfreilegung, part. Transplantat- verlust, an Entnahme- stelle oftmals einher- gehend mit Schmerz -AlloDerm: OP-Zeit verlängert + Kosten↑ -FTSG: mehr Gewebe über Sehne, direkter Verschluss an Entnahmestelle: weniger Komplika- tionen, reduzierte Flexion und Deviation, evtl. mehr Kontraktion	Keine An- gaben	Keine Angaben	Keine Angaben	Ver- blindete Bewer- tung durch Oper- ateure: STSG> FTSG> Allo- Derm Aber stat. nicht signifi- kant (Quan- titativ)	-Subj.: keine Unter- schiede (80-90% vorher- iger Funk- tionali- tät her- gestellt) -Obj.: alle 3 sehr ähnlich, außer red. Flexion, ulnare Devia- tion bei FTSG -Leichte Sens.- störung (nicht sign.) (Quanti- tativ)

61	<p>1) suprafaszial + „<i>meshed graft</i>“</p> <p>2) suprafaszial + „<i>Sheet graft</i>“</p> <p>3) subfaszial + „<i>meshed graft</i>“</p> <p>4) subfaszial + „<i>Sheet graft</i>“</p>	62 Pat. (zum Ende der Evaluation: 58)	<p>Suprafaszial „<i>sheet graft</i>“: Bessere funkt., ästh. Resultate, geringste Sehnenfreilegungsrate (keine)</p> <p>Subfaszial + „<i>meshed graft</i>“: 12% Sehnenfreilegung am meisten von allen Gruppen und am wenigsten Transplantateinheilungsrate (signifikant)</p> <p>Suprafaszial + „<i>meshed</i>“ und subfaszial + „<i>sheet</i>“: jeweils 1 Pat. mit Sehnenfreilegung</p> <p><i>meshed</i> Gruppe: ADL (<i>activities of daily living</i>) sign. verkleinert nach 1 Monat (später nicht mehr signif.)</p> <p>keine Unterschiede zw. Gruppen hinsichtlich Schmerz, Zufriedenheit, Aussehen</p>	<p>1) 104,1 cm²</p> <p>2) 90,5 cm²</p> <p>3) 85,3 cm²</p> <p>4) 113,3 cm²</p>	Sub-/Suprafasziale Lappenhebung	Keine Angaben	<p>Subfasz. + <i>Meshed</i> schlechteres Ergebnis als andere Gruppen</p> <p>Supraf. + <i>Sheet</i> bestes Ergebnis</p> <p>(Quantitativ)</p>	<p>Zwischen den Gruppen keine funkt. Unterschiede: gute Ergebnisse, gute Sensibilität und Mobilität</p> <p>(Quantitativ)</p>
62	<p>FTSG (Innenarm)</p> <p>im Vgl. „<i>meshed STSG</i>“</p> <p>+ V.A.C. (-75 bis -125 mmHg) für 5 Tage</p>	<p>121 -78% FTSG</p> <p>- 22% „<i>meshed STSG</i>“</p>	<p>-Suprafasziale Hebung: anspruchsvoller als subfaszial</p> <p>-97% Transplantateinheilung</p> <p>-Transplantatverlust (4%), Sehnenfreilegung (3%), verzögerte Wundheilung (4%)</p> <p>-geringere Morbidität als bei subfaszialer Hebung (andere Studien)</p>	<p>35 cm² FTSG</p> <p>72 cm² STSG</p> <p>STSG größer als FTSG</p>	Suprafasziale Lappenhebung	<p>STSG sign. längere Heilungsdauer (14 Tage im Vgl. zu 10 Tagen)</p> <p>verzögerte Heilung (> 30 Tage): 4%</p>	<p>Kontraktion: -FTSG < STSG</p> <p>-große Defekte, ältere Patienten ></p> <p>Kontraktion -Männer < Frauen</p> <p>(Quantitativ)</p>	Gut (Quantitativ)
63	<p>STSG + Splint (6 Tage)</p> <p>Vgl. sub-/suprafaszial</p>	<p>47 Patienten</p> <p>25 subfaszial</p> <p>22 suprafaszial</p>	<p>Sehnenfreilegung: 20% Subfaszial 0% Suprafaszial</p> <p>-Hämatome (8%) subfaszial und (5%) suprafaszial</p> <p>- keine Transplantatverluste in beiden Gruppen</p>	Keine Angaben	Supra-/Subfasziale Lappenhebung	Keine Angaben	Keine Angaben	Keine Angaben

64	STSG (0,4 mm) aus dem Oberschenkel + Überknüpfverband + Splint in 30° Dorsalflexion (12-14 Tage)	19 Pat.	-Funktionell hohe Patientenakzeptanz, ästhetisch geringere Patientenzufriedenheit -Wundheilung 89% (11% Sehnenfreilegung)	30 cm ²	Subfasziale Hebung + Sehnenbedeckung mittels Muskelbäuchen	Keine Angaben	Mittelmäßige Farb Anpassung und Patientenzufriedenheit (Quantitativ)	- motorische Funktion und Sensation red. (Vgl. Non-Donorarm) -Part. Hypästhesie - Funkt. Zufriedenheit: 79% - „ <i>pinch strength</i> “ 9.81% red. und Griffstärke 12.6% red. -Flexion (17.6%) und Extension (13.4%) Reduktion (stat. sign.) im Vgl. Non-Donorarm (Quantitativ)
65	FTSG aus der Leiste + 25 sub- und 25 suprafasziale RFFF	50 Patienten, 25:25 -final 41 Patienten	subfasziale Gruppe: mehr Schrumpfung des FTSG (15%), höhere Komplikationsrate bis 6 Wochen post-OP (Sehnenfreilegung, Serom, Nekrose), größere Schmerzen, superfizielle und tiefe Hämoglobinkonzentration geringer, suprafaszial: 1 Pat. totaler Lappenverlust	Keine Angaben	Sub- und suprafasziale Hebung	Keine Angaben	Pat.: zufrieden/sehr zufrieden: 76.2% (subfaszial) und 77.7% (suprafaszial) Behandler: zufrieden/sehr zufrieden: 95.3% (subfaszial) und 94.7% (suprafaszial) (Quantitativ)	Keine Angaben

66	STSG aus Oberschenkel + Splint (1 Woche) im Vgl. FTSG aus Leiste (in den letzten Fällen dieser Gruppe mit Überknüpfverband und Splint für 2 Wochen)	STSG: 64 Patienten FTSG: 31 Patienten	-Partieller Verlust: 1 Pat. (10% des Transplantates) STSG 5 Pat. (5-35 % des Transplantates) FTSG -Heilungsrate STSG 94% und FTSG 84% STSG Entnahmestelle problematischer als die vom FTSG: Juckreiz und hypertrophe Narben Laut Autor suprafasziale Hebung bessere Heilung und Funktion, bei FTSG keine Komplikationen an 2. Entnahmestelle und bessere Ästhetik bei stabilem Verband (Splint) bei gleicher Erfolgsrate	78,3 cm ²	Suprafaszial	2 Wochen (Pat. mit part. Lappenverlust 3-5 Wochen)	STSG: 57% Zufriedenheit FTSG: 92% Zufriedenheit (Quantitativ)	Bei part. Transplantatverlust: funkt. Einschränkung (sign.), sonst freie Bewegung und Verlust der Kraft Keine Kälteintoleranz (Quantitativ)
67	Keine weiteren Angaben	49 Pat.	-100% Wundheilungsrate nach suprafaszialer Lappenhebung, keine Sehnenadhäsion -Leichte, aber nicht signifikante Taubheit des Handballens	Keine Angaben	Suprafaszial	Keine Angaben	Keine Angaben	Keine Angaben
68	STSG (0,6 mm) Oberschenkel + Immobilisierung für 10Tage	35 Pat.	77.1% Hypästhesie, 8.6% Anästhesie, 8,6% Hyperästhesie 5.7% keine Einschränkungen 11,4% Dehiszenzen 31,4% Kälteintoleranz	4 x 6 cm ² bis 8 x 8.5 cm ²	Keine Besonderheiten angegeben	Keine Angaben	Pat.: Gut-51,4%, Mäßig-42,9%, Schlecht 11,4% (Quantitativ)	Kraft und Beweglichkeit leicht red., sonst Funktion sehr gut (objektiv + subjektiv) (Quantitativ)
69	Keine weiteren Angaben	11 Pat.	2 Pat. Wundheilungsproblem (ohne objektive oder subjektive Beschwerden später)	Keine Angaben	subfaszial	Keine Angaben	Keine Angaben	Veränderung stat. nicht sign.: Flexion, <i>pinch strength</i> , <i>sharp sensation</i> Aber: subj. keine funkt. Einschränkung (Quantitativ)

70	STSG (78 Patienten) und FTSG aus Leiste (47 Patienten) + Splint für 7 Tage	125 Pat.: 74 subfaszial, 19 suprafaszial, 32 Kombination aus beidem	Bei Phalloplastik wird großer RFFF benötigt (oft 14 x 14 cm ²) -Komplikationen: 5,6%, partieller Transplantatverlust: 4,8% (2 STSG und 4 FTSG) - Neuer operativer Eingriff bei 5 Patienten benötigt -Keine Unterschiede zwischen Lappenhebungs-techniken -Sensibilität leicht schlechter bei FTSG (Quantitativ) und FTSG aus Leistenregion hat Nachteile insbesondere bei Geschlechtsumwandlung: Verlängerung der Operationsdauer, erhöhte Gefahr einer Wunddehiszenz, Entfernung von Haut, die bei Transsexuellen später noch benötigt werden könnte für weitere operative Eingriffe	Bis zu 228 cm ²	Dünne Patienten subfaszial, sonst suprafaszial Sehnenbedeckung mit Muskelbäuchen, vorherige Wundflächenverkleinerung mittels Naht	Keine Angaben	Moderate Ergebnisse (obj./subj.) -Pat. leicht zufriedener als Ärzte und FTSG minimaler Vorteil (Quantitativ)	5,6% verlängerte Schwellung der Hand, sonst keine funkt. Einschränkungen (Quantitativ)
71	STSG	18 Pat.	7 Pat. Kälteintoleranz Griffstärke-Reduktion bei 11,9%, Areale mit sensorischem Defizit bei 56% Gute präoperative Aufklärung des Patienten bei RFF nötig, da nicht unproblematisch 5 Pat. Wundheilungsstörungen	12 x 8 cm ²	subfaszial	Keine Angaben	4 Pat. würden Eingriff nicht wiederholen 7 Pat.: Gut, 10 Pat.: Ausreichend 1 Pat.: Schlecht (Quantitativ)	3 Pat. unzufrieden, sonst leichte funkt. Einschränkungen (Quantitativ)

Danksagung

In erster Linie möchte ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Dr. Jörg Handschel für seine großartige Unterstützung, seinen Einsatz und seine Empathie einen großen Dank aussprechen. Dank ihm durfte ich mich auf einem Gebiet promovieren, welches hoffentlich vielen Patienten, die bereits einen schweren Schicksalsschlag und Leidensweg erleben mussten, eine gewisse Entlastung und Lebensqualität bietet. Insbesondere für den sowohl fachlichen als auch für den kollegialen Austausch möchte ich mich herzlichst bedanken und freue mich auch weiterhin auf die Zusammenarbeit.

Darüber hinaus gilt ein besonderer Dank Herrn Dr. Dr. Henrik Holtmann für all seine Mühe. Im Rahmen der klinischen Studie stand er mir jederzeit unterstützend mit Rat und Tat zur Seite. Für seine weitere wissenschaftliche Zukunft möchte ich ihm an dieser Stelle alles erdenklich Gute wünschen.

Hierbei möchte ich ebenfalls dem gesamten Assistenten-Team und der Firma KCI für die Unterstützung und Organisation der klinischen Rahmenbedingungen danken.

Meinen Freunden und Kollegen möchte ich an dieser Stelle ebenso herzlichst danken. Dieser Dank gilt gleichfalls meinem Mentor Herrn Prof. Dr. Rainer Schwestka-Polly, der von Anfang an Vertrauen in mich hatte. Sie alle haben mich nicht nur in meinem beruflichen Werdegang bestärkt, sondern standen auch darüber hinaus stets mit gutem Zuspruch an meiner Seite.

Aus ganzem Herzen möchte ich mich bei meinem besten Freund und Ehemann, David, für seine jahrelange aufmerksame, liebevolle und uneingeschränkte Unterstützung und Liebe bedanken. Stets hat er die richtigen Worte gefunden, mit mir mitgefiebert und mich ermutigt uneingeschränkt meinen Zielen weiter nachzugehen.

An wichtigster Stelle sei meinen liebevollen Eltern, Flora und Klaus, und meinem liebsten Onkel, Kourosh, für deren bedingungslose Unterstützung und Liebe zu danken. Ohne deren wertvollen Ratschläge, motivierenden Worte und Geduld wäre ich sowohl auf persönlicher als auch auf beruflicher Ebene heute nicht an diesem Punkt. Ich hoffe, dass ich ihnen mit dieser Widmung einen kleinen Teil meiner Dankbarkeit für all ihre Mühe und Hingabe entgegenbringen kann.