

Aus dem Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Universität zu Köln  
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik  
Herr Privatdozent Dr. med. Dr. med. dent. Martin Scheer

## Darstellung von Perforatorgefäßen mittels Smartphone- basierter Thermographiekamera

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der zahnärztlichen Doktorwürde  
der Medizinischen Fakultät  
der Universität zu Köln

vorgelegt von  
Dr. med. Benedikt Paßmann  
aus Essen

promoviert am 26. September 2023

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln  
Druckjahr 2023

Dekan:                                    Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink  
1. Gutachter:                            Privatdozent Dr. med. Dr. med. dent. M. Scheer  
2. Gutachter:                            Professor Dr. med. Dr. med. dent. M. P. Kreppel

## Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.<sup>1</sup>

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich keine Unterstützungsleistungen.

Weitere Personen waren an der Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

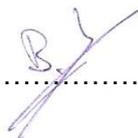
Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Untersuchungen wurden nach Rücksprache und Besprechung mit meinem Betreuer PD Dr. Dr. Scheer der Klinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie des Klinikums Mindens von mir entwickelt und durchgeführt. Die Untersuchungen auf der Krankenstation der Klinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie des Klinikums Mindens wurden ebenfalls selbstständig durch mich durchgeführt. Die Genehmigung durch die Ethikkommission erfolgte vorab. Der erhobene Datensatz wurde anschließend von mir selbst mittels SPSS und Microsoft Excel ausgewertet. Graphische Darstellungen wurden von mir mit Microsoft Excel und Microsoft Powerpoint erstellt.

## Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Köln, den 06.06.2023

Unterschrift: .....



<sup>1</sup>Bei kumulativen Promotionen stellt nur die eigenständig verfasste Einleitung und Diskussion die Dissertationsschrift im Sinne der Erklärung gemäß dieser Erklärung dar.

## Danksagung

Meinem Doktorvater, Herrn Priv.-Doz. Dr. Dr. Martin Scheer, danke ich herzlich für die Überlassung des Themas und seine inhaltlichen Anregungen. Besonders hervorheben möchte ich an dieser Stelle seine intensive Betreuung und die Schaffung exzellenter Rahmenbedingungen. Ohne seine Unterstützung und seine stetige Offenheit für Fragen zu jedem Zeitpunkt wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Ich habe unsere Dialoge stets als Ermutigung und Motivation verstanden.

Ich danke Priv.-Doz. Dr. Dr. Martin Scheer und Prof. Dr. Dr. Matthias Kreppel für die hilfsbereite und wissenschaftliche Betreuung als Gutachter.

Die Arbeit in der Klinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie des Johannes Wesling Klinikums Minden wurde für mich durch das freundschaftliche Klima zu einer wertvollen und prägenden Erfahrung. An dieser Stelle möchte ich allen Mitarbeitern für die beständige Unterstützung und vielen hilfreichen Hinweise zu meiner Arbeit danken.

Schließlich danke ich meiner Ehefrau Laura sowie meinen Eltern Sabine und Andreas Paßmann, die mich immer und in allem unterstützt haben.

# Inhaltsverzeichnis

<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>6</b>
<b>1 ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>7</b>
<b>2 EINLEITUNG</b>	<b>8</b>
2.1 Freie Lappenplastiken	8
2.1.1 Geschichte	8
2.1.2 Perforatoren	10
2.1.3 Oberarmtransplantate	14
2.1.4 ALT-Transplantate	15
2.1.5 Osteomyokutanes Fibula-Transplantat	17
2.1.6 Indikation für freie Gewebetransplantate	18
2.2 Hautperforator-Identifikation	20
2.2.1 Akustische Doppler-Sonographie	22
2.2.2 Farbduplexsonographie	24
2.2.3 Kontrastmittelunterstützte Sonographie	26
2.2.4 Weitere Identifikationsmethoden	27
2.2.5 Thermographie	28
2.2.5.1 Physik, Funktion, Anwendung	31
2.3 Fragestellung	34
<b>3 MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>36</b>
3.1 Probanden	36
3.2 Patienten	36
3.3 Untersuchungsaufbau und Durchführung	36
3.3.1 Flir One	38
3.4 Statistische Auswertung	39
<b>4 ERGEBNISSE</b>	<b>40</b>
4.1 Probanden	40
4.1.1 ALT rechts	40
4.1.2 ALT links	42

4.1.3	Fibula rechts	44
4.1.4	Fibula links	46
4.1.5	Oberarm rechts	48
4.1.6	Oberarm links	50
4.1.7	Seitenvergleich	52
4.2	Patienten	54
4.2.1	ALT	55
4.2.2	Fibula	57
4.2.3	Oberarm	59
<b>5</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>63</b>
5.1	Analyse Probandengruppe	63
5.2	Analyse Patientengruppe	68
5.3	Perforatoridentifikation und Thermographie	69
5.4	Durchführung der Thermographie	72
5.5	Qualitative Auswertung	74
5.6	Schlussfolgerung	77
<b>6</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>80</b>
<b>7.</b>	<b>ANHANG</b>	<b>88</b>
7.1	Abbildungsverzeichnis	88
7.2	Tabellenverzeichnis	91
7.3	Ethikvotum	92

## **ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

ALT	<i>anterolateral thigh</i>
DIEP	<i>deep inferior epigastric perforator</i>
DIRT	<i>dynamic infrared thermography</i>
KPIF	<i>Keystone perforator island flap</i>
LCFAP	<i>lateral circumflex femoral artery perforator</i>
PBAP	<i>profunda brachii artery perforator</i>
PNAP	<i>peroneal artery perforator</i>
TAP	<i>thoracodorsal artery perforator</i>

## 1 ZUSAMMENFASSUNG

Seit den 1980er Jahren werden freie Lappenplastiken zur Rekonstruktion von traumatischen Defekten, nach ablativer Tumorchirurgie, angeborenen Fehlbildungen und nach entzündlichem Gewebsverlust genutzt.

Die Gefäßversorgung von freien Hauttransplantaten erfolgt über Perforatorgefäße.

Zur präoperativen Identifikation von Perforatorgefäßen wird seit einigen Jahren die Doppler-Sonographie herangezogen. Mit der Fluoreszenz-Angiographie gibt es eine weitere Möglichkeit zur intraoperativen Perforator-Identifikation. Im Jahr 2016 wurde von Hardwicke et al. erstmals eine ursprünglich für den Privatgebrauch vorgesehene thermographische Kamera eingesetzt, die an gängige Smartphones/Tablets angeschlossen wird, um Perforatorgefäße zu identifizieren.

In der vorliegenden Studie wurden nach Aufklärung 20 Probanden an drei Entnahmestellen für freie Lappentransplantate beidseits mittels Doppler-Sonographie und Thermographie untersucht. Hierbei wurde Reliabilität der Thermographie mit der Doppler-Sonographie verglichen. Die Identifikation wurde mittels Doppler-Sonographie überprüft.

Insgesamt wurden bei den 20 Probanden 464 Perforatoren per Thermographie identifiziert. Davon konnten 88,5 % in der Doppler-Sonographie bestätigt werden. Im Bereich der ALT-Entnahmestellen konnten pro Patient bis zu 14 Perforatoren festgestellt werden. In 49,5 % der Fälle lag der sonographische Perforator mit mehr als 50 % seiner Fläche innerhalb des thermographischen. Bei weiteren 31 % lag der Perforator randständig. In nur 7,8 % lag der Perforator vollständig außerhalb des thermographischen Perforators.

Insgesamt spricht die gemessene Übereinstimmung für eine grundsätzlich effiziente Identifizierbarkeit von Perforatoren mittels einer thermographischen Kamera. Teilweise konnten einem nachweisbaren sonographischen Perforator mehrere „Hotspots“ mittels Thermographie zugeordnet werden. Für eine vollwertige Identifikation von Perforatoren erscheint keine vollständige Übereinstimmung erforderlich, da die Gefäße im subkutanen Gewebe unterschiedliche Verläufe aufweisen.

Die Thermographie ist bei aktuellem Entwicklungsstand für eine orientierende Darstellung von Perforatoren geeignet. Die Methodik ist kostengünstig, schnell und übersichtlich durchzuführen und leicht erlernbar. Mit der genutzten Kamera lässt sich nur eine eingeschränkte qualitative Analyse vornehmen, da keine Aussagen über das Gefäßkaliber gemacht werden können.

## 2 EINLEITUNG

### 2.1 Freie Lappenplastiken

#### 2.1.1 Geschichte

Freie Lappenplastiken sind Gewebetransplantationen von einer Körperregion in eine andere. Dabei wird ein Gewebeanteil mit einem oder mehreren definierten Blutgefäßen (Arterie/Vene) entnommen und im Empfängergebiet an dort vorhandene Arterien und Venen anastomosiert. Im Unterschied zu gestielten Lappenplastiken bleibt die Gefäßverbindung zur Entnahmeregion nicht bestehen.

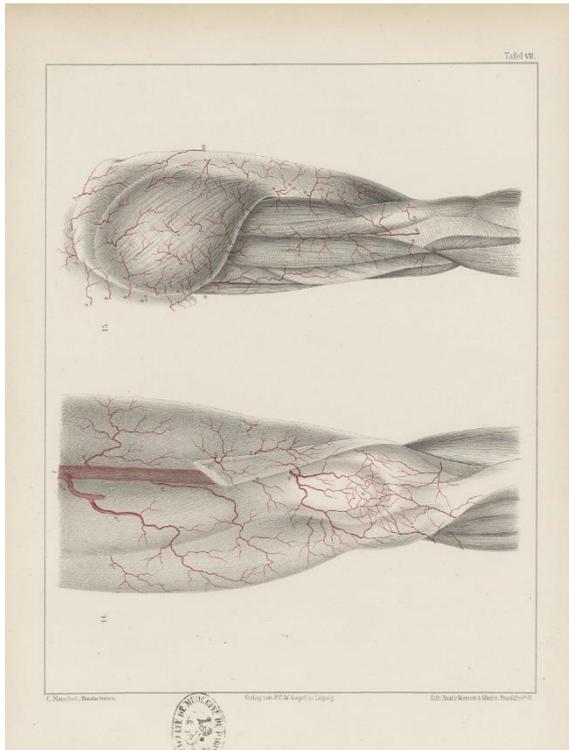


Abbildung 1: Haut- und Perforatorgefäße des Oberschenkels<sup>1</sup>.

Haut- und Perforatorgefäße sind spätestens seit dem Ende des 19. Jahrhunderts bekannt<sup>1</sup>. Manhot beschreibt in seinem Buch „The Cutaneous Arteries of the Human Body“ cutane, muskuläre und fasziale Perforatoren, welche er mittels eines bariumhaltigen Kontrastmittels radiologisch sichtbar gemacht hatte.

Der Chirurg Jasinowski führte 1899 die erste End-zu-End-Gefäßanastomose durch, woraufhin in der Folge mehrfach autologe Veneninterponate transplantiert wurden<sup>2,3</sup>.

In den 1920er Jahren entwickelte sich die Mikrochirurgie als Folge der Erfindung bzw. Etablierung von moderneren OP-Techniken und -Instrumenten sowie des OP-Mikroskops<sup>4</sup>.

Aufgrund kleiner Strukturen und begrenzter Platzverhältnisse im Innen- und Mittelohr wurden erste Versuche von unter einem Mikroskop durchgeführten Eingriffen und Operationen von HNO-Ärzten unternommen. Die enge Anatomie machte eine nah beieinander liegende Sicht- und Beleuchtungsachse erforderlich. Über diese Achse mussten im Falle eines Eingriffs grazile Instrumente eingebracht werden können. Weiterhin erforderten die kleinen Strukturen insbesondere im Mittel- und Innenohr eine optische Vergrößerung des Sichtfeldes.

Im Jahre 1921 benutzte der HNO-Arzt Carl-Olof Siggesson Nylén ein umgebautes Mikroskop zur Inspektion des Endolymphschlauchs eines Kaninchens<sup>5</sup>. Im gleichen Jahr wurde dasselbe Mikroskop von Holmgren zur chirurgischen Behandlung eines an Otosklerose leidenden Patienten eingesetzt<sup>5</sup>.

Erst in den 1950er Jahren erfolgte die Weiterentwicklung von Operationsmikroskopen. Dabei gehörten die Verbesserung der Mobilität und die stufenlose Vergrößerung zu den wichtigsten

Innovationen<sup>5</sup>. Auch die Möglichkeit der Beteiligung eines zweiten Operateurs wurde zu der Zeit entwickelt.

Die erste mikrochirurgische Gefäßanastomose wurde von Jacobson et. al. 1962 an einem 1,4 mm durchmessenden Gefäß der Arteria cerebri media beschrieben. Zur etwa gleichen Zeit entstand der Begriff „Mikrochirurgie“<sup>6</sup>.

In den folgenden 1960er Jahren wurden mehrfach Revaskularisierungen subtotal oder total amputierter Finger mittels mikrochirurgischer Techniken vorgenommen<sup>7,8</sup>.

Der plastische Chirurg Buncke führte 1966 in seiner Garage Versuche an Tieren durch. Dabei gelang es ihm mit Hilfe selbstgefertigter Mikroinstrumente Großzehen und Ohren von Rhesus-Affen und Hasen mit deutlich kleineren Gefäßdurchmessern erfolgreich zu replantieren<sup>5,9,10</sup>.

In Folge dieser Innovationen kam es zu Weiterentwicklungen der Techniken und Methoden in Nordamerika, Europa sowie in Ostasien<sup>11-13</sup>.

Die erste freie Transplantation von Gewebe am Menschen wurde erstmals 1973 von Daniels und Taylor in Melbourne beschrieben<sup>14,15</sup>. Dabei wurde ein Ileo femoral-Transplantat transplantiert, das durch die A. und V. circumflexa iliaca superficialis versorgt wurde.

Die Überlebensraten von ca. 70 % der transplantierten Lappenplastiken wurden damals als „gut“ angesehen<sup>16,17</sup>.

Seit den 1980er Jahren war mit der Identifikation von Perforatorgefäßen eine Belebung der plastisch-rekonstruktiven Chirurgie zu beobachten. „Neue Lappenplastiken“ wie der ALT-Flap aus der LCFAP, das osteomyocutane Fibulatransplantat aus der PNAP sowie der Oberarmflappen aus der PBAP sind Beispiele für neue Entnahmeregionen, die somit auch weitere Indikationen zum freien Gewebetransfer eröffneten<sup>18,19</sup>.

Mittlerweile stehen viele verschiedene Entnahmeregionen auch zur Hebung unterschiedlicher Gewebe, insbesondere auch Knochen, zur Verfügung<sup>20</sup>. Frei Transplantate können in nahezu allen Körperregionen gehoben und erfolgreich transplantiert werden. Dabei ist die Gewebeart nur von zweitrangiger Bedeutung.

So steht der Latissimus-Flap seit 1976 als Verschiebelappen zur Rekonstruktion von Gewebedefekten der Brust zu Verfügung. In der Folgezeit wurde von Maxwell<sup>21</sup> und Godina<sup>22</sup> der Latissimus dorsi-Flap als freies Transplantat weiterentwickelt.

Das ALT-Transplantat wurde erstmals 1984 von Song et. al. zur Rekonstruktion von Defekten im Kopf-Hals-Bereich beschrieben<sup>23</sup>. Seitdem wurden weitere Einsatzmöglichkeiten und Empfängerregionen in der Literatur veröffentlicht<sup>24-27</sup>.

Die ersten beschriebenen Fibula-Transplantationen erfolgten 1975 durch Taylor et. al.<sup>28</sup>. Schon seit 1971 waren Versuche an Hunden unternommen worden, die Mandibula mittels mikrovaskulär anastomosierter Knochentransplantate zu rekonstruieren. Ursprünglich wurde autologer Rippenknochen verwendet<sup>29-31</sup>. Erst 1989 konnten Hidalgo et. al. ein Fibula-Transplantat zur Rekonstruktion einer Mandibula beim Menschen erfolgreich einsetzen<sup>32</sup>.

## 2.1.2 Perforatoren

Perforatoren sind Gefäße, die ihren Ursprung in tiefer liegenden Gefäßen haben und zwischen Muskelsepten, durch den Muskel oder entlang von Faszien in das Subkutangewebe laufen<sup>23</sup>. Die ersten Perforatortransplantate wurden 1983/1984 von Baek<sup>33</sup> und Song<sup>23</sup> beschrieben. Sie galten als Weiterentwicklung septokutaner und myokutaner Transplantate<sup>34</sup>.

Die Entwicklung der Perforatortransplantate wäre ohne die genaue Kenntnis der anatomischen Gegebenheiten nicht möglich gewesen<sup>1,20</sup>.

Taylor und Palmer<sup>20</sup> beschrieben in ihrer Arbeit aus dem Jahre 1987 unterschiedliche Arten von Perforatoren. Je nach Gewebe werden die Perforatoren in myocutane, tiefe und oberflächliche fasziokutane unterteilt. Weiterhin werden „composite flaps“ beschrieben, die insbesondere Mischformen aus tiefen und oberflächlichen Perforatoren darstellen.

Im Bereich der Glutealmuskulatur verlaufen die Ursprungarterien (Aa. glutea superior und inferior) innerhalb der Muskulatur, sodass abzweigende perforierende Gefäße erst in die Muskulatur und dann durch die Faszie ziehen, um in das zu versorgende Subkutangewebe einzutreten (Abbildung 2+3).

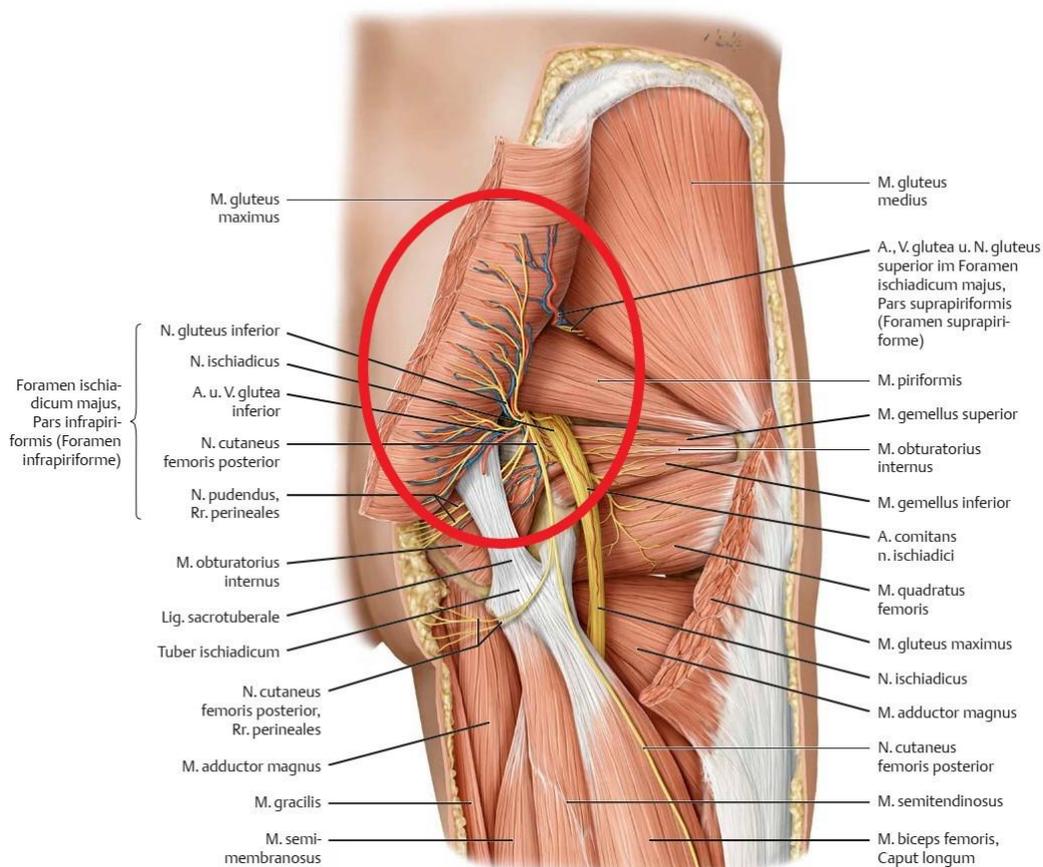


Abbildung 2: Durchtritt der Abgänge der Aa. gluteae sup. + inf. durch die Muskulatur (modifiziert nach<sup>35</sup>).

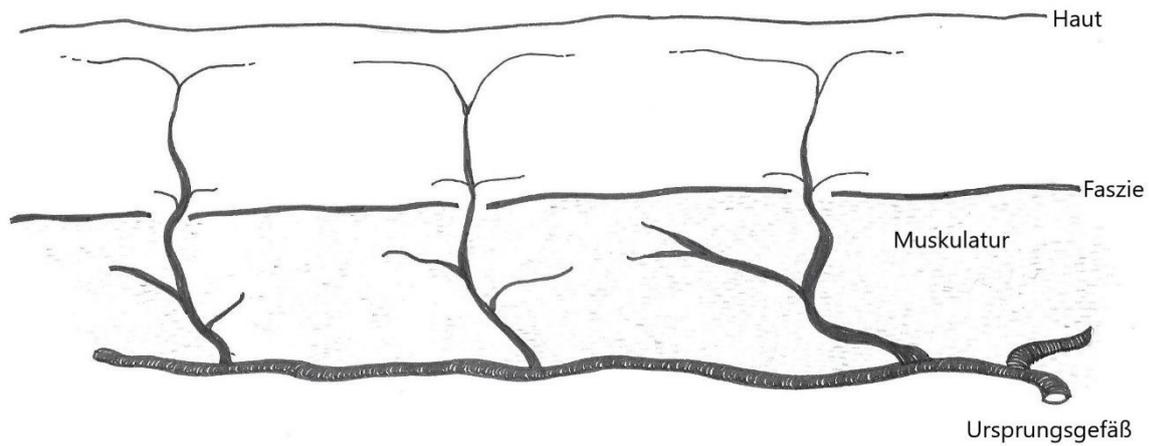


Abbildung 3: Durchtritt der perforierenden Gefäße durch die Muskulatur (modifiziert nach <sup>20</sup>).

An der Fußsohle verlaufen die Ursprungsarterien (Aa. plantaris medialis und lateralis) unmittelbar unterhalb der Faszie, sodass wie bei der o.g. Glutealarterie Perforatoren vor Durchtritt durch die Faszie abzweigen und das Subkutangewebe versorgen (Abbildung 4+5).

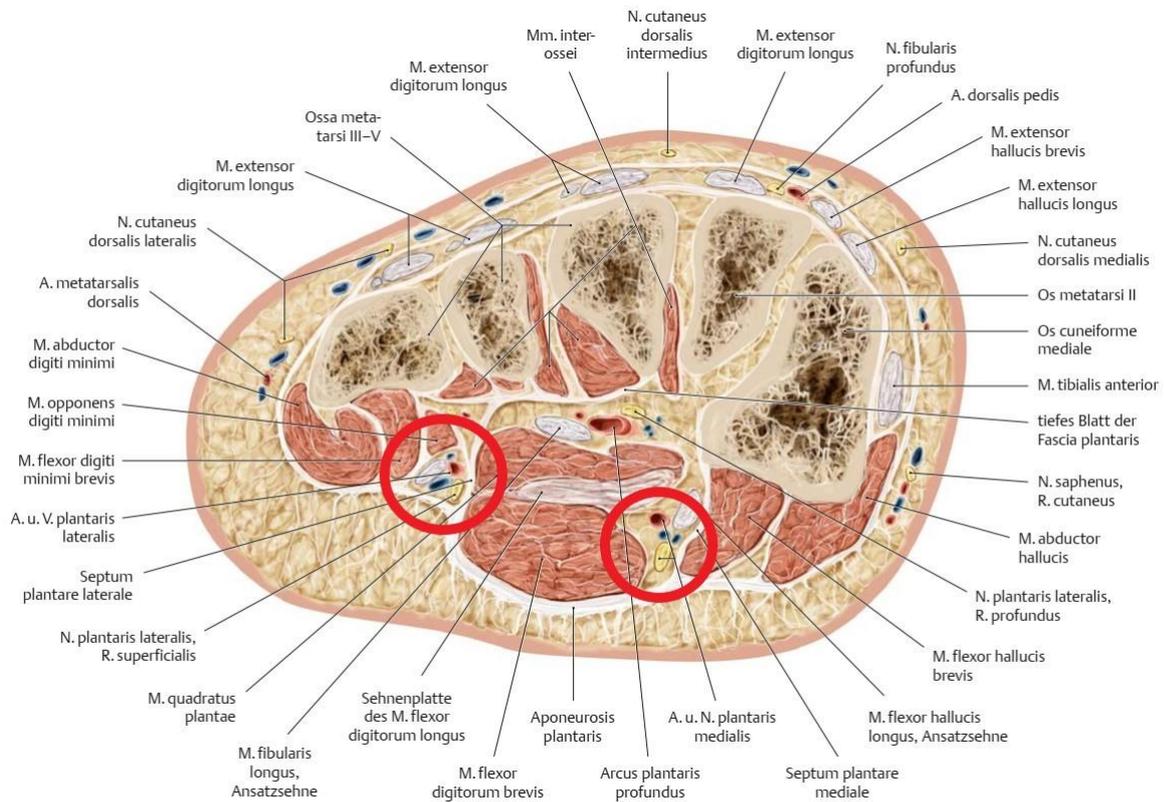


Abbildung 4: Verlauf der Gefäße unterhalb der Faszie (hier Aponeurose), (modifiziert nach <sup>35</sup>).

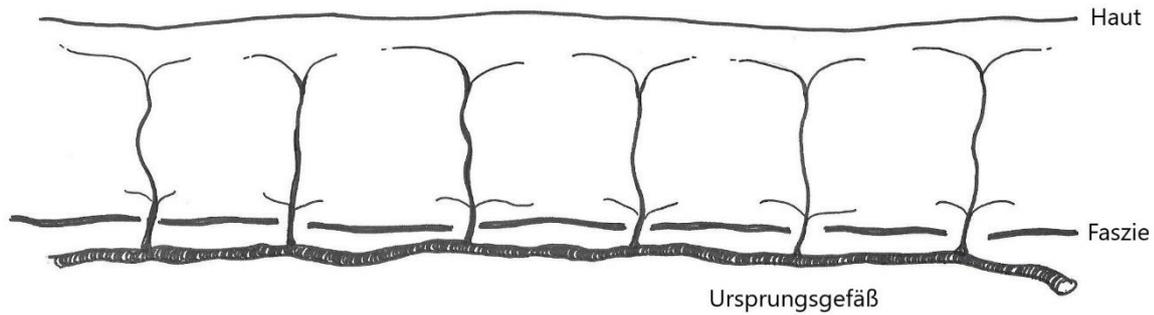


Abbildung 5: Verlauf der versorgenden Gefäße unterhalb der Faszie und Durchtritt der einzelnen Perforatoren (modifiziert nach <sup>20</sup>).

Am Oberschenkel durchtritt die Ursprungsarterie (absteigender Ast der A. circumflexa femoris lateralis) zuerst die Faszie und verzweigt sich erst anschließend weiter (Abbildung 6+7).

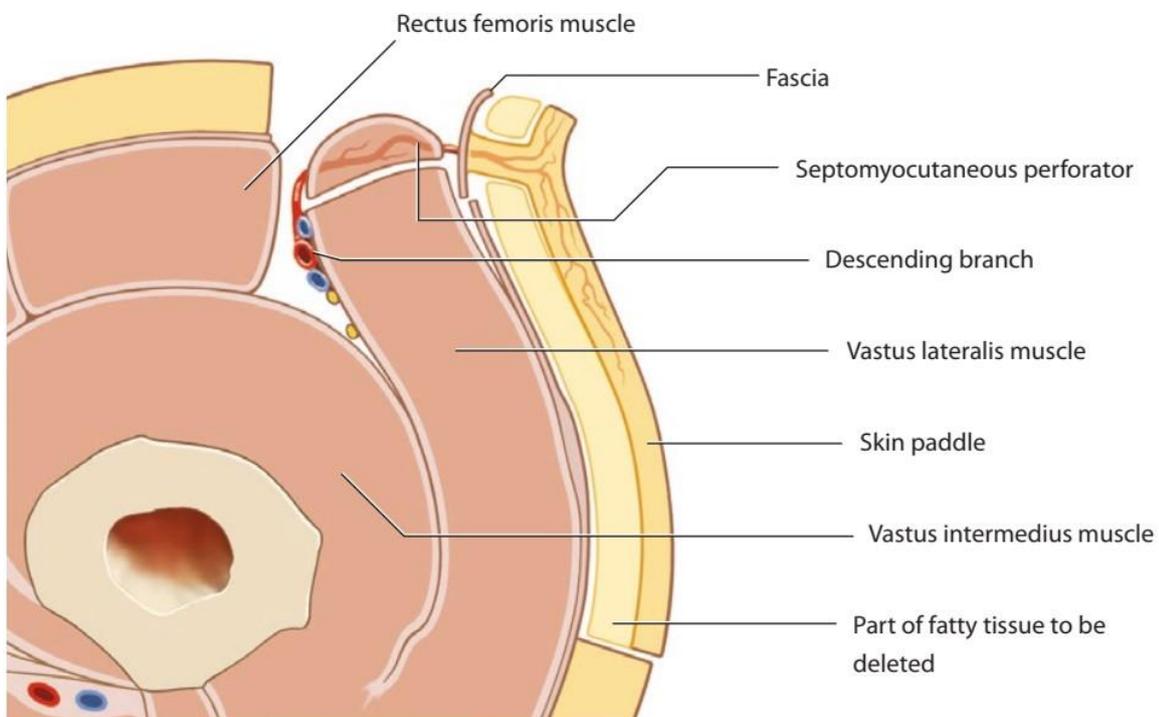


Abbildung 6: Durchtritt eines septomyocutanen Perforators am Oberschenkel <sup>36</sup>.

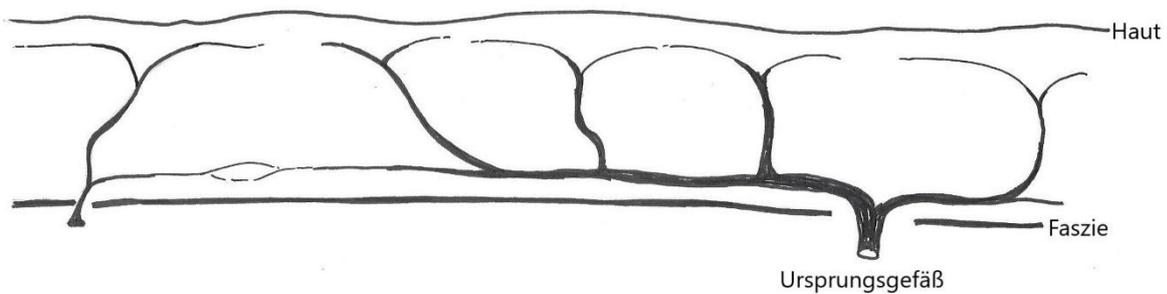


Abbildung 7: Durchtritt der versorgenden Gefäße durch die Faszie und anschließende Verzweigung (modifiziert nach <sup>20</sup>).

Die genaue Kenntnis der Perforatoren und ihrer zuführenden Gefäße führte zur Entdeckung der Angiosomen<sup>34,37,38</sup>. Bei dieser Theorie werden Hautareale in kleinere Einheiten unterteilt.

Diese Einheiten definieren sich durch ein in das Subkutangewebe eintretendes Gefäß und dessen Verzweigungen. Die Verzweigungen weisen in alle Richtungen Verbindungen zu benachbarten Angiosomen auf<sup>37</sup>. Wie Abbildung 8 verdeutlicht, können die benachbart liegenden Angiosome aus demselben, tiefer gelegenen, Gefäß stammen. Es bestehen jedoch auch Anastomosen zwischen Angiosomen mit unterschiedlichen Ursprungsgefäßen. Dies wurde zuerst in Tierversuchen (u.a. Hasen und Schweine) mittels Röntgenkontrast bestätigt<sup>37</sup>. Bei diesen Versuchen konnte die Haut in mehrere, größere Areale unterteilt werden, die von größeren, tiefer liegenden Gefäßen versorgt wurden. Diese Areale bestehen aus o.g. Untereinheiten, die untereinander Anastomosen ausbilden. So werden benachbarte Angiosome bei Entnahme weiterhin versorgt.

Daraus folgt, dass eine genaue Kenntnis der Gefäßanatomie an der Entnahmestelle wichtig für das Überleben des Transplantats ist<sup>34,37</sup>.

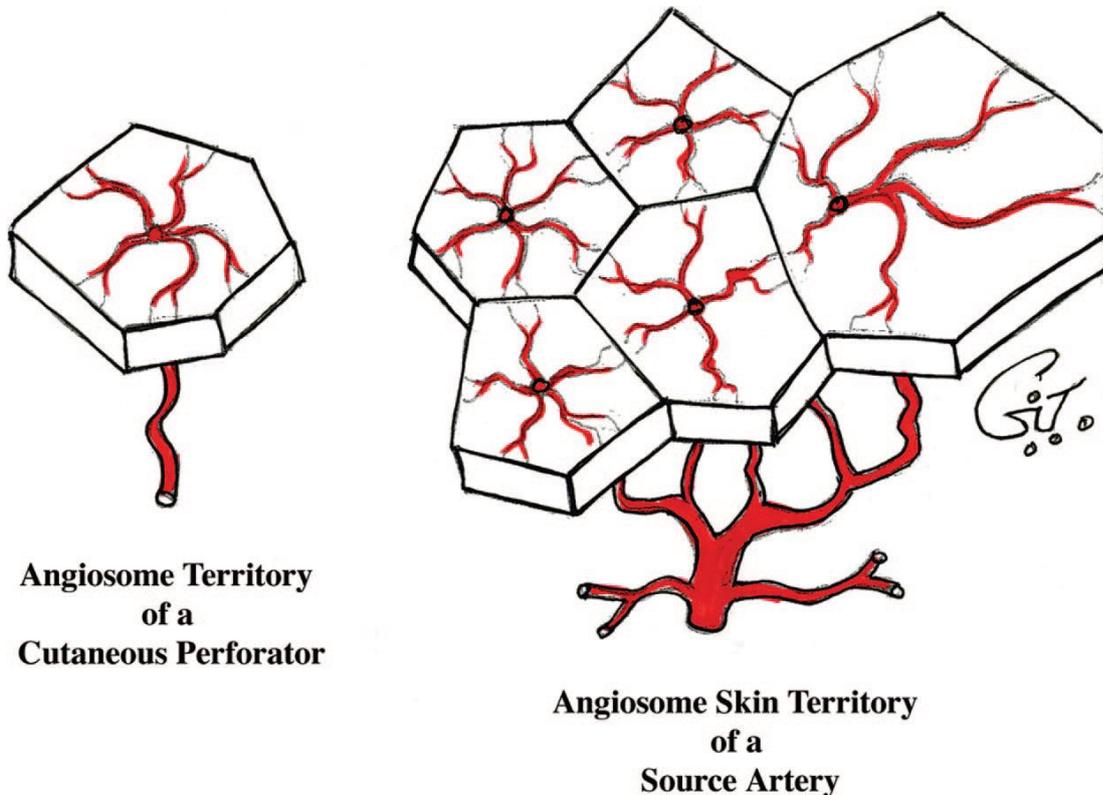


Abbildung 8: Schematische Darstellung eines Angiosoms (links) und mehrerer Angiosome (rechts)<sup>37</sup>.

### 2.1.3 Oberarmtransplantate

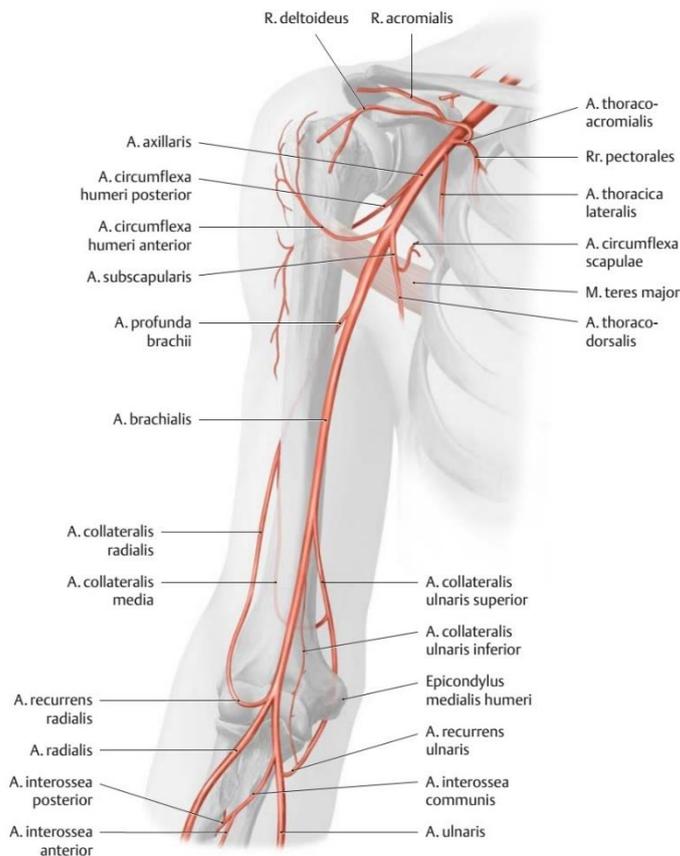


Abbildung 9: arterielle Versorgung des Oberarms<sup>35</sup>.

Das freie laterale Oberarmtransplantat wurde erstmals von Song et. al. 1982<sup>39</sup> und Katsaros et al. 1984<sup>40</sup> beschrieben. Myocutane Transplantate vom Oberarm werden durch Perforatoren aus unterschiedlichen Gefäßen versorgt. Dazu zählen u.a. A. collateralis radialis posterior aus der A. profunda brachialis, sowie die A. circumflexa humeri posterior<sup>20,41</sup>. Mit Hilfe von Oberarmtransplantaten lassen sich unterschiedliche Defekte rekonstruieren. Beschrieben werden sowohl Rekonstruktionen im Gesichts-, Oropharynxbereich sowie in der Mundhöhle<sup>42</sup>, aber auch an anderen Körper-

regionen<sup>40</sup>. Die A. collateralis radialis posterior bietet zudem ein ausreichendes Kaliber für eine mikrovaskuläre Anastomisierung<sup>41,43</sup>. Oberarmtransplantate weisen eine dickere Fettschicht<sup>41</sup> als Radialis-Transplantate auf, was bei dem Aufbau von Gewebedefiziten vorteilhaft sein kann. Anders als bei der Entnahme eines Latissimus dorsi-Transplantats muss der Patient während der Operation nicht umgelagert werden und es können auf diese Weise zwei OP-Teams parallel arbeiten.

## 2.1.4 ALT-Transplantate

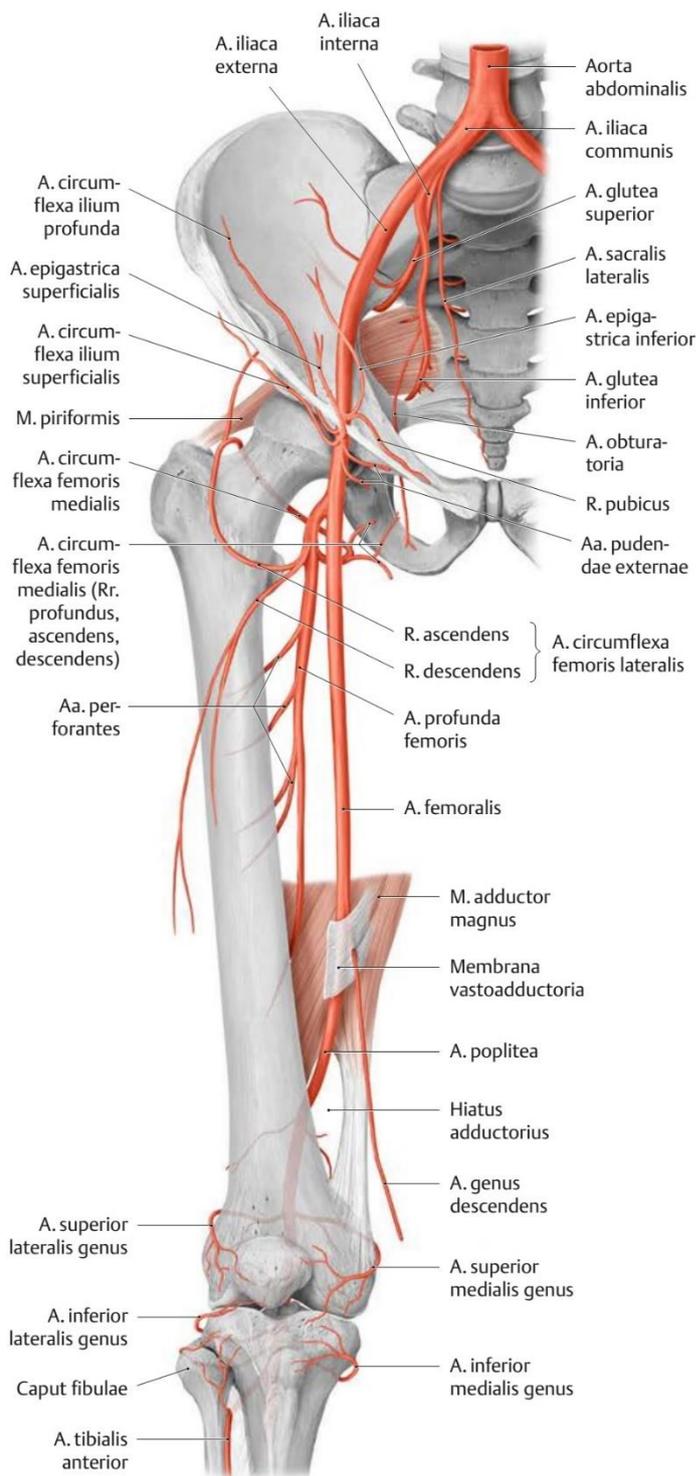
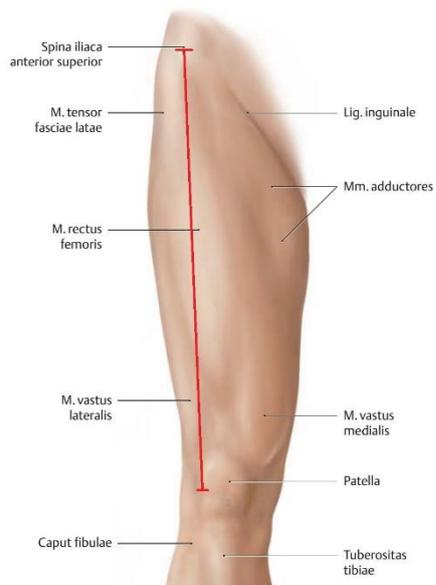


Abbildung 10: arterielle Versorgung des Oberschenkels<sup>35</sup>.

Seit der Erstbeschreibung durch Song et. al. 1984<sup>23</sup> hat sich das anterolaterale Transplantat aus dem Oberschenkel als Multifunktions-transplantat etabliert, das in unterschiedlichen Körperregionen zur Defektdeckung verwendet werden kann<sup>44-48</sup>. So ist es möglich, beim Heben des Transplantats unterschiedliche Gewebe einzuschließen. Außer dem cutanen und subcutanen Anteil, können sowohl muskuläre Anteile des Musculus vastus lateralis aus dem M. quadriceps femoris als auch Sehnen- und Faszien-Anteile der Faszia lata eingeschlossen werden<sup>45,49</sup>.

Die Entnahmeregion befindet sich auf einer Linie von der Spina iliaca anterior superior und des lateralen, oberen Patellarandes (Abbildung 11), sodass eine maximale Transplantatgröße von 40 x 20 cm möglich ist<sup>48</sup>.

Die Gefäßversorgung erfolgt über die Perforatoren der A. circumflexa femoris lateralis (LCFAP), bzw. deren Ramus descendens. Die durchschnittliche Gefäßstiellänge beträgt 8 – 12 cm mit einem



Durchmesser von 2 mm<sup>50-52</sup>. Wie beim Oberarmklappen ist während der OP eine Umlagerung nicht erforderlich. Hier können ebenfalls zwei OP-Teams gleichzeitig arbeiten.

Weiterhin lässt sich die Entnahmestelle bis zu einer Breite von 8 – 10 cm primär decken<sup>45</sup>.

Abbildung 11: ALT-Entnahmeregion modifiziert nach Schünke et. al.<sup>35</sup>.

## 2.1.5 Osteomyokutanes Fibula-Transplantat

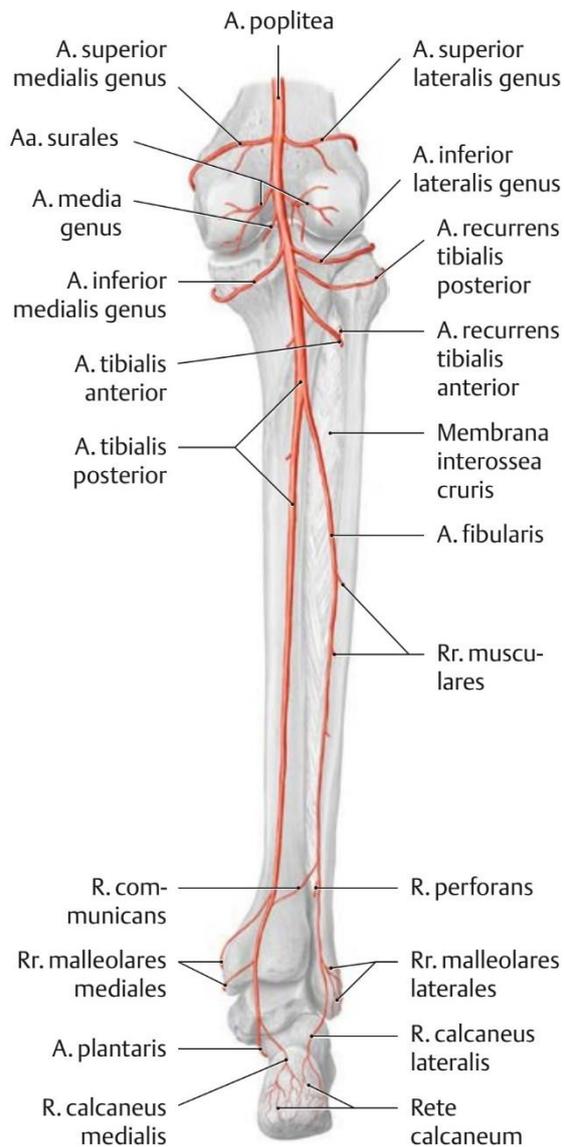


Abbildung 12: arterielle Versorgung des Unterschenkels<sup>35</sup>.

Mit dem mikrovaskulären Fibula-Transplantat steht seit 1975<sup>28</sup> ein zuverlässiges Transplantat zur Rekonstruktion knöcherner Defekte zur Verfügung. Der Ersatz des Unterkiefers durch ein osteomyokutanes Fibula-Transplantat gehört mittlerweile zu den verbreiteten Rekonstruktionsmethoden. Das Auffinden der korrekten Entnahmeregion gestaltet sich aufgrund der markanten Knochenstrukturen, Fibula-Köpfchen und Malleolus lateralis meist problemlos. Die Gefäßversorgung erfolgt aus der A. fibularis. Aufgrund der günstigen Versorgung der Fibula durch medulläre sowie zirkulär im Periost verlaufende Gefäße<sup>53–55</sup> ist eine Rekonstruktion der Mandibula möglich. Diese Blutversorgung erlaubt eine knöchernen Durchtrennung, während über das Periost und Weichgewebe die Blutversorgung sichergestellt ist. So ist die Wiederherstellung der natürlichen Hufeisenform des Unterkiefers möglich.

### 2.1.6 Indikation für freie Gewebetransplantate

Die Indikationen für freie Gewebetransplantate lassen sich in drei Gruppen unterteilen. Zum einen können durch Infektionen des Weich- und Hartgewebes Defekte entstehen, die eine Wundversorgung primär oder durch Verschiebe- oder Fernlappenplastiken unmöglich machen. Grund hierfür können Mängel in der Funktion und Ästhetik oder schlicht ein geringes Gewebeangebot sein. Zu den Infektionen zählen neben akuten Infektionen insbesondere



Abbildung 13: Periorale und orale Gewebeerstörung durch Noma<sup>56</sup>.

chronische Infektionen wie z.B. chronische Osteomyelitiden u.a. in Form einer infizierten Osteoradionekrose oder die Noma (Wasserkrebs)<sup>46,56-60</sup>.

Ein weiteres Indikationsgebiet sind traumatische Defekte, zu denen auch Verbrennungen gezählt werden<sup>61,62</sup>.

Aufgrund unterschiedlichster Verletzungen kann es notwendig sein, freie

Transplantate zur Rekonstruktion von Gewebe zu nutzen. Das kann zum Beispiel bei Schussverletzungen mit erheblichem Substanzverlusten sinnvoll sein<sup>63</sup>.

Nach Operationen mit onkologischem Hintergrund und großem Substanzdefekt ist die anschließende Rekonstruktion mittels mikrovaskulär anastomosierter Transplantate mittlerweile weit verbreitet<sup>64,65</sup>. Ebenso verhält es sich bei der Behandlung gutartiger Tumoren, wie z.B. dem Ameloblastom (Abbildung 14+15). Freie Lappentransplantate werden insbesondere zur Wiederherstellung im Gesicht, aber auch an den Extremitäten<sup>66</sup> sowie zur Brustrekonstruktion<sup>67</sup> verwendet.

Als weitere seltene Indikation kann die Neugestaltung von Körperteilen beispielsweise bei einer Geschlechtsumwandlung<sup>44</sup> oder die Rekonstruktion bei einem Parry-Romberg-Syndrom<sup>68</sup> genannt werden.



Abbildung 14: Ameloblastom des rechten Unterkiefers.

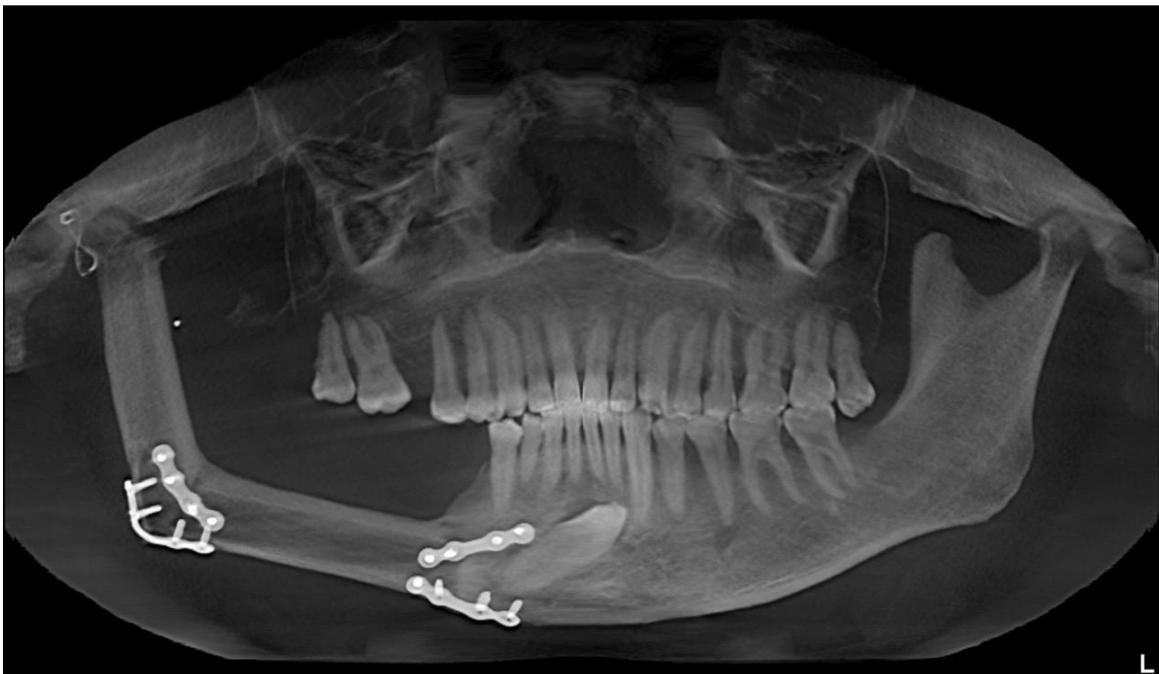


Abbildung 15: Z.n. Reconstruction des Unterkiefers mit einem osteomyocutanen Fibulatransplantat.

## 2.2 Hautperforator-Identifikation

Die präoperative Identifikation geeigneter Hautareale unter Beachtung der versorgenden Hauptgefäße gemäß der Angiosomtheorie ist für die Entnahme von freien Lappentransplantaten von entscheidender Bedeutung. Wird ein Transplantat in einer ungeeigneten Körperregion gehoben, besteht die Möglichkeit, dass kein Perforator mit einer ausreichenden Stiellänge oder -dicke gefunden wird oder dass das Transplantat aufgrund unzureichender Anastomosen nicht suffizient perfundiert wird. Die wohl verbreitetste und am wenigsten komplizierte Methode ist die Orientierung an bestimmten Körperpunkten und -linien<sup>69</sup>.

So kann bei der Hebung eines ALT-Lappens eine Linie von der Spina iliaca anterior superior zum lateralen, oberen Patella-Rand (Abbildung 11) die Grenze zwischen dem M. rectus femoris und dem Vastus lateralis markieren<sup>70</sup>. Wenige Zentimeter proximal der Mitte dieser Linie wird die Position eines Hauptperforators vermutet. Die maximale Länge eines Transplantats beträgt ca. 25 cm und die maximale Breite ca. 8 cm<sup>36</sup>.

Beim Oberarm-Transplantat gilt proximal die Deltoideus-Inzisur als Orientierung. Der proximale Rand des Transplantats liegt ca. 4-6 cm distal dieser Inzisur. Der untere Transplantatrand liegt ca. 1-2 cm proximal des Epicondylus lateralis, der als distaler Orientierungspunkt gilt. Das gefäßführende Septum liegt zwischen den Muskelbäuchen des M. biceps brachii und M. triceps brachii<sup>36</sup>.

Die Entnahme eines osteokutanen Fibula-Transplantats erfolgt unter Orientierung an einer Linie zwischen Fibulaköpfchen und Maleolus lateralis. Während für die Entnahme des köchernen Fibulaanteils ein Mindestabstand von 8-10 cm zum Maleolus lateralis eingehalten werden sollte, ist es sinnvoll das Flapdesign der Hautinsel erst nach eindeutiger intraoperativer Identifikation der Hautperforatoren festzulegen<sup>36</sup>.

Neben dieser unkomplizierten Methode gibt es einige teils invasive Verfahren zur Detektion von Hautperforatoren.

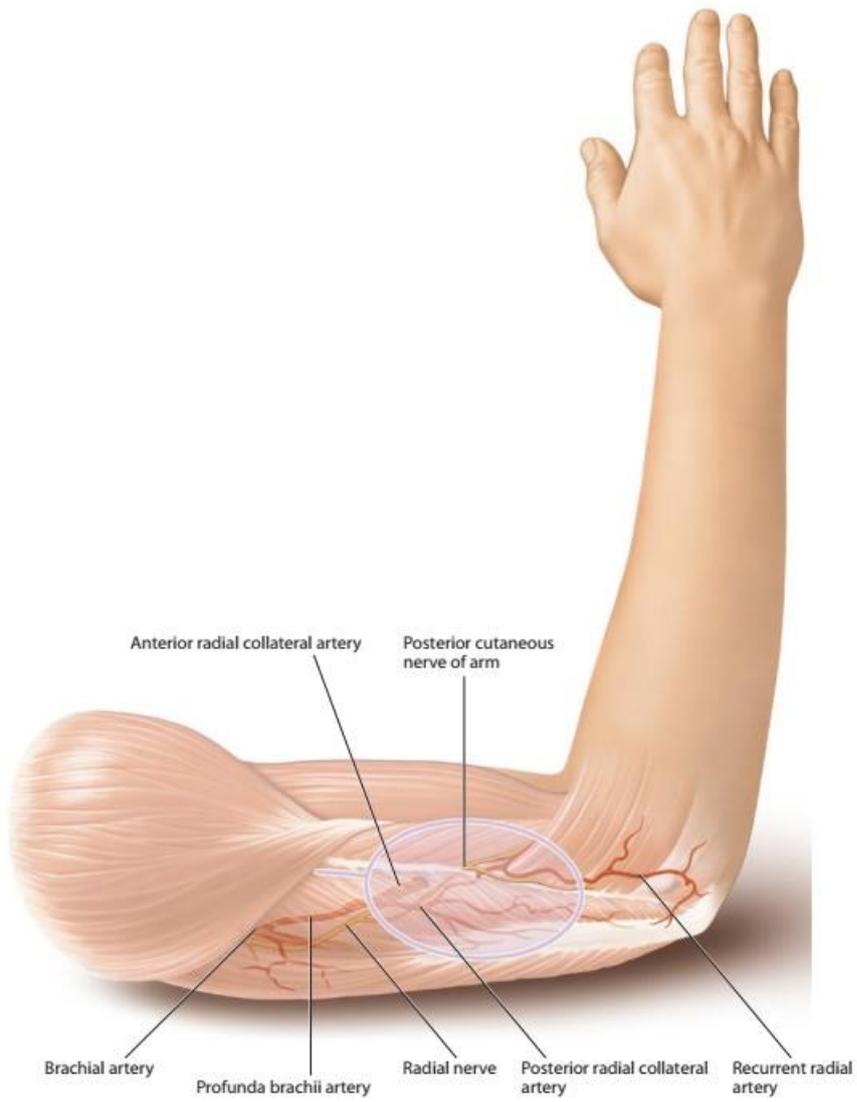


Abbildung 16: Entnahmeregion Oberarm-Flap<sup>36</sup>.

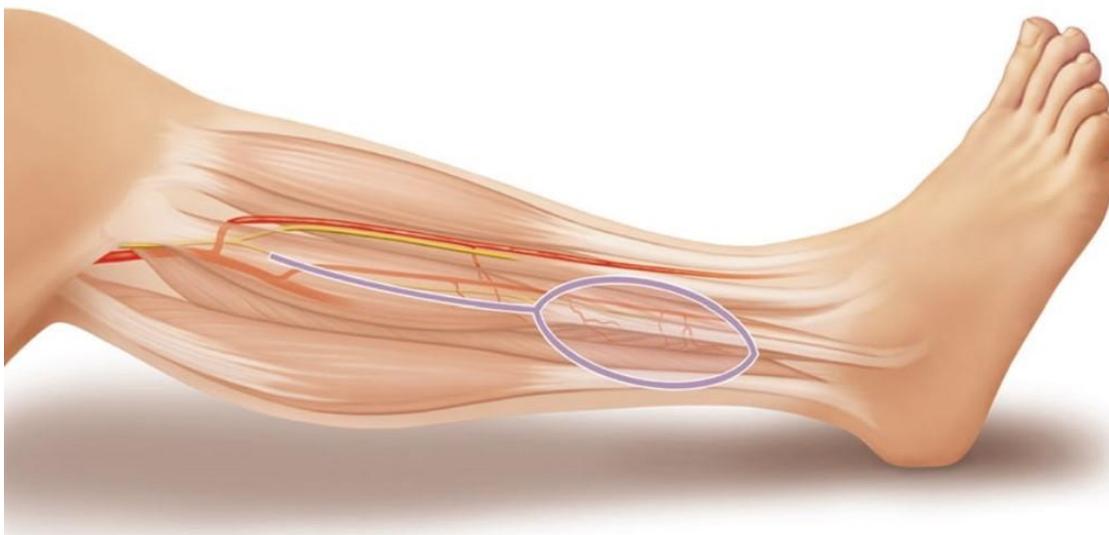


Abbildung 17: Entnahmeregion eines osteomyokutanen Fibula-Flaps mit Hautinsel<sup>36</sup>.

### 2.2.1 Akustische Doppler-Sonographie

Die akustische Doppler-Sonographie ist eine einfache Möglichkeit zur präoperativen Planung von Perforatorlappen. Schon 1990 wurde von Taylor et. al.<sup>71</sup> der Einsatz der Doppler-Sonographie zur Planung beschrieben. Diese Methode wird seitdem aufgrund der einfachen und schnellen Lokalisation von Gefäßen als Goldstandard herangezogen<sup>72-74</sup>.

Die präoperative Untersuchung erfordert einen geringen Materialaufwand und kann schnell erlernt werden. Zudem sind die Investitionskosten für ein akustisches Doppler-Gerät als niedrig einzuschätzen<sup>75</sup>. Zur Identifikation eines Hautperforators wird der Schallkopf senkrecht auf die Haut aufgesetzt. So kann am Durchtrittspunkt in das Subkutangewebe das beste Signal detektiert werden<sup>76</sup>. Am lautesten Punkt des Signals ist der Perforator zu vermuten<sup>76</sup>.

Aufgrund des variablen Frequenzbereichs von 2-10 MHz kann die Eindringtiefe des Ultraschalls gering gewählt werden, um so mit den Dopplersonden von Handheld-Geräten sehr oberflächennahe Gefäße identifizieren zu können.



Abbildung 18: Bi-direktionales Dopplergerät MD2 von Huntleigh

Zusätzlich ist es ratsam, bekannte (o.g.) anatomische Landmarken zur Eingrenzung des Untersuchungsareals zu nutzen.

Der Einsatz der akustischer Doppler-Sonographie ist als zusätzliches Instrument sinnvoll, sollte aber aufgrund möglicher falsch-positiver Ergebnisse nicht als alleinige Methode genutzt

werden<sup>77,78</sup>. Dopplergeräte können bei erhöhter Eindringtiefe, zum Beispiel bei schlanken Patienten oder zu niedrig gewählten Frequenzen, nicht zwischen den oberflächlichen und den eventuell ungeeigneten tiefer liegenden Gefäßen unterscheiden.

## 2.2.2 Farbduplexsonographie

Die Farbduplexsonographie ist eine Untersuchungsmethode, bei der das Dopplersignal farblich kodiert im B-Bild dargestellt wird. So können Blutströmungen in Gefäßen sichtbar gemacht werden. Die Farbe der Kodierung richtet sich hierbei nach der Strömungsrichtung. Auf den Schallkopf zuströmendes Blut wird rot, während Blut, das vom Schallkopf wegströmt, blau dargestellt wird. Turbulenzen oder Verwirbelungen werden gelb-grünlich dargestellt.

Die Technik kann als erweiterte Methode der o.g. akustischen Dopplersonographie zur Identifikation von Perforatoren herangezogen werden. Die Farbduplexsonographie erweist sich beim Vergleich beider Techniken als die exaktere Methode<sup>79,80</sup>.

Im Vergleich zur Doppler-Sonographie, die mit einem Handheld-Gerät in jedem klinischen Setting durchgeführt werden kann, sind Material- und Geräteaufwand bei der Farbduplexsonographie größer.

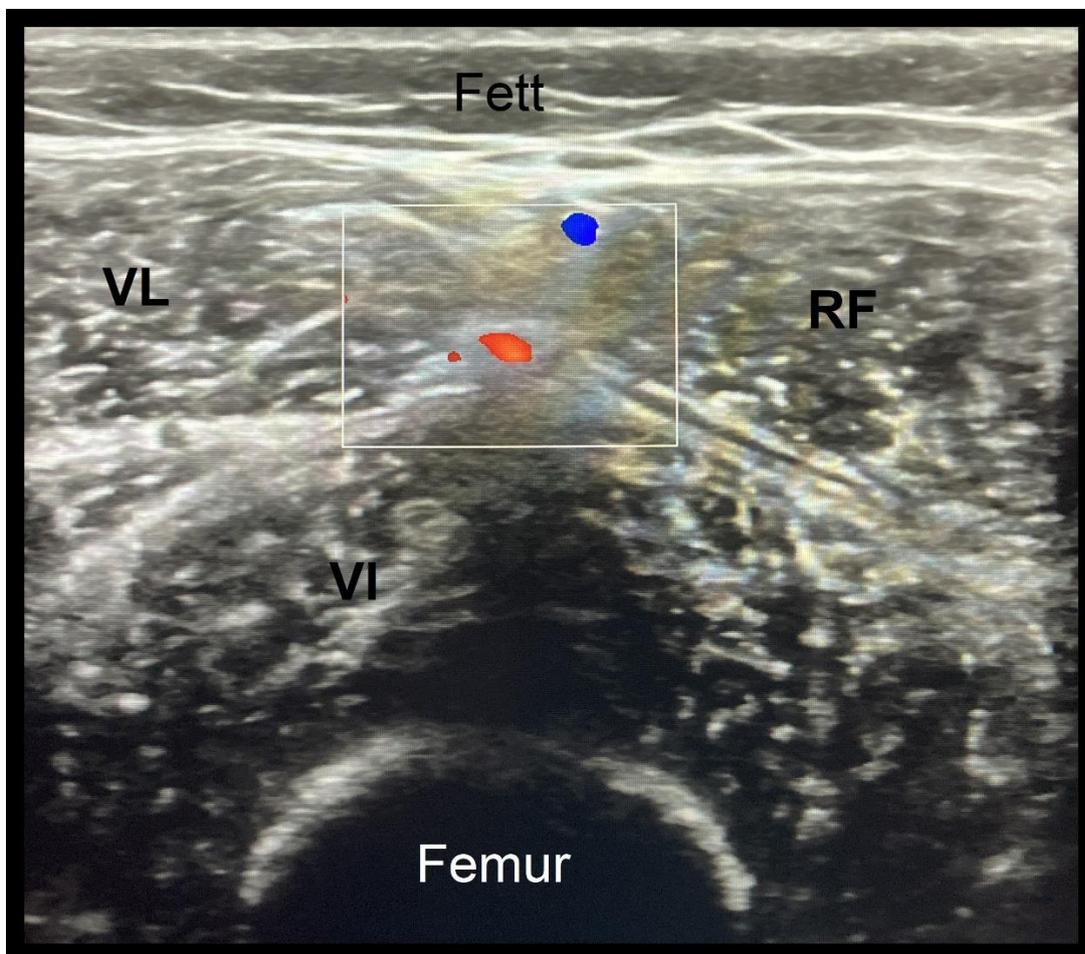


Abbildung 19: Farbduplexsonographie des Oberschenkels im Bereich der ALT-Entnahmestelle mit Darstellung eines Perforatorgefäßes. VL=Vastus lateralis, RF=Musculus rectus femoris, VI=Vastus intermedius. Modifiziert nach<sup>80</sup>.

Die Farbduplexsonographie benötigt ein Sonographiegerät mit entsprechenden hochauflösenden Sonden für den Nahbereich. Somit ist insbesondere der finanzielle Aufwand zur Anschaffung erheblich größer.

Weiterhin sind Geräte trotz zunehmender Miniaturisierung deutlich größer als die Handheld-Geräte zur alleinigen Doppler-Sonographie.

Für die Durchführung einer qualitativ angemessenen bildgebenden Sonographie ist eine Abdunklung des Untersuchungsraumes notwendig, da so Strukturen auf dem Monitor des Ultraschallgeräts besser sichtbar werden.

### 2.2.3 Kontrastmittelunterstützte Sonographie

Bei der kontrastmittelunterstützten Sonographie wird vor der Ultraschalluntersuchung ein Kontrastmittel intravenös verabreicht. Durch dieses Kontrastmittel sollen – je nach Organ oder Gewebe – Durchblutungsmuster sichtbar gemacht werden<sup>81</sup>. Das Kontrastmittel kann sich je nach zu untersuchendem Gewebe unterscheiden.

Das Kontrastmittel kann außer der intravenösen Gabe auch in Körperhöhlen gegeben werden um beispielsweise einen Reflux oder eine Fistelung zu untersuchen<sup>82–84</sup>.

Mit der Gabe eines Kontrastmittels, das zum Teil intravenös verabreicht wird, um sich an den darzustellenden Strukturen anzureichern<sup>81</sup>, steigt der apparative Aufwand. Weiterhin können Kontrastmittel für Ultraschalluntersuchungen in seltenen Fällen Unverträglichkeiten hervorrufen<sup>85</sup>. Das bedeutet ein zusätzliches Risiko bei der insgesamt risikoarmen Sonographie.

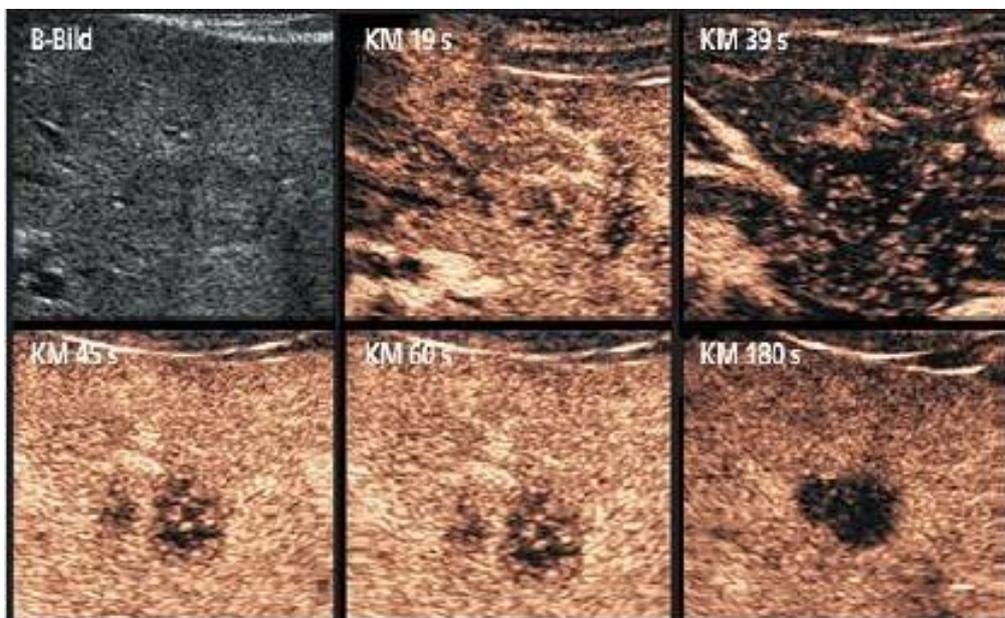


Abbildung 20: Lebermetastase mit im Verlauf zunehmender Hypoechogenität nach intravenöser Gabe eines Ultraschall-Kontrastmittels<sup>4</sup>.

#### **2.2.4 Weitere Identifikationsmethoden**

Neben den beiden oben genannten Verfahren kommen noch weitere Tests zum Einsatz.

Die Fluoreszenz-Angiographie bietet mittels eines intraoperativ injizierten Stoffes die Möglichkeit das Design des Transplantats individuell anzupassen und das genaue Versorgungsgebiet eines perforierenden Gefäßes zu detektieren<sup>86,87</sup>. Hierbei wird ein fluoreszierender Stoff intravenös verabreicht und anschließend mit einer Kamera mit hoher Auflösung und Bildfrequenz aufgezeichnet<sup>88,89</sup>. So können Hautareale, die von einem Perforator versorgt werden, sehr genau abgegrenzt werden. Hier ist jedoch der apparative Aufwand – Spezialkamera, Computer und Monitor – nicht unerheblich, sodass der Einsatz abgewogen werden sollte.

Weiterhin kann eine hoch auflösende computertomographische oder Magnet-Resonanz-Angiographie präoperativ angefertigt werden, da hier gleichzeitig eine radiologische Bildgebung stattfindet und somit einen Eingriff zusätzlich erleichtert<sup>90</sup>. Jedoch wird die Identifikation vergleichsweise kleiner Hautperforatoren teilweise als ungenau angesehen<sup>91</sup>.

### 2.2.5 Thermographie

Eine weitere Möglichkeit zur Perforator-Identifikation besteht in der thermographischen Bildgebung. Wie die akustische Doppler-Sonographie kann die Thermographie zur präoperativen Detektion möglicher Perforatoren herangezogen werden<sup>92</sup>.

Die Thermographie wird seit spätestens 1977 als diagnostisches Mittel genutzt<sup>93</sup>. So wird sie als diagnostische Methode zur Früherkennung von Mamma-Karzinomen als Alternative zur gängigen Mammographie diskutiert<sup>93,94</sup>.

Seit Anfang der 1990er Jahre wird sie sowohl zur Identifikation von Hotspots bzw. Perforatoren als auch zur Planung von Lappenplastiken genutzt<sup>95</sup>. Viele der bisher für medizinische Zwecke eingesetzten thermographischen Kameras sind groß und teils unhandlich in der Benutzung. Im Jahre 2016 wurde erstmals von Hardwicke et. al.<sup>96</sup> eine ursprünglich für den Privatgebrauch vorgesehene thermographische Kamera zur Identifikation perforierender epigastrischer Gefäße genutzt. In einer Pilotstudie<sup>96</sup> wurden ebenfalls Perforatoren am Oberschenkel in der Entnahmeregion von ALT-Transplantaten dargestellt. Hardwicke et al.<sup>96</sup> kamen zu dem Ergebnis, dass die Thermographie eine Methode ist, die ohne den Einsatz von Kontrastmitteln oder ionisierender Strahlung auskommt. Sie wiesen auf die kontaktlose Benutzung hin, welche mit geringem Materialaufwand auskommt. Trotz kleiner Ungenauigkeiten zwischen dem „echten“ Foto und dem darüber gelegten thermographischen Bild sei eine orientierende Identifikation möglich.

Wie der akustische Doppler können mit Hilfe der Thermographie keine sicheren Aussagen über die Qualität und Kaliber der perforierenden Gefäße getroffen werden<sup>97</sup>.

Hintergrund dieser Methode ist, dass die in das Subkutangewebe eintretenden Gefäße warmes Blut in die peripheren bzw. oberflächlichen Körperregionen transportieren. Das bedeutet, dass dieses Blut wärmer als das umgebende Gewebe ist. Dieser Temperaturunterschied lässt sich mittels einer Wärmebildkamera sichtbar machen<sup>98</sup>.

Die thermographische Kamera Flir ONE der Firma Flir wird für den Gebrauch an ein Smartphone oder Tablet angeschlossen und liefert mittels einer Programm-Applikation thermographische Live-Bilder auf das Display des Geräts.

Die daraus gewonnenen Ergebnisse können zur Planung eines Perforator-Transplantats genutzt werden<sup>99</sup>.

In der Literatur wird zwischen statischer und dynamischer thermographischer Bildgebung unterschieden<sup>100</sup>.

Die statische Bildgebung zeigt die thermographische Aufnahme zu einem bestimmten Zeitpunkt<sup>92,96,100</sup>. So lassen sich im Gewebe Hotspots vom umliegenden Gewebe unterscheiden, was auf ein perforierendes Gefäß hindeutet. Dieser Sachverhalt wurde in einer Studie mit 120 Perforatorgefäßen von Pereira et al.<sup>101</sup> untersucht. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass Smartphone-basierte thermographische Kameras eine hohe Übereinstimmung

zu CT-angiographischen Untersuchungen aufweisen und für das präoperative Transplantatdesign geeignet sind.

Die dynamische thermographische Bildgebung (DIRT) zeigt die Temperaturveränderung der Haut über einen bestimmten Zeitraum, in dem die Haut bestimmten Umweltfaktoren, z.B. Kühlung, ausgesetzt ist<sup>99,102</sup>. In einer Studie von de Weerd et al.<sup>99</sup> wurden für die Entnahme von DIEP-Transplantaten mittels thermographischer Kamera Aufnahmen des Unterbauchs angefertigt, nachdem die Entnahmeregion mittels Doppler-Sonographie untersucht worden war. Anschließend wurde die Haut gekühlt und dann die Erwärmung mittels Thermographie festgehalten. Hierbei zeigte sich, dass sich einige zuvor detektierte Hotspots nach Abkühlung schneller erwärmten und mit doppler-sonographischen Perforatoren übereinstimmten. Die Autoren<sup>99</sup> schlossen durch die schnellere Erwärmung des Hotspots auf ein größeres Gefäßkaliber bzw. stärkere Perfusion. Dementsprechend kann die DIRT bei der qualitativen Perforatoridentifikation hilfreich sein<sup>99,102</sup>.

Drei Studien (Tabelle 1) untersuchten die thermographische Identifikation von Hautperforatoren zur Defektdeckung mittels lokaler Lappenplastiken als Rotations-, Verschiebe- oder Schwenkplastik<sup>92,103,104</sup> und es konnten mittels präoperativer thermographischer Untersuchung erfolgreiche Defektdeckungen an den unteren Extremitäten und am Thorax vorgenommen werden.

Die meisten Studien (Tabelle 1) untersuchten die klassischen Entnahmeregionen von ALT-<sup>92,96,100,101</sup> und DIEP-Flaps<sup>95-97,99,105,106</sup>. Die thermographische Identifikation wurde sowohl mit anatomischen Landmarken, als auch mit der CT-Angiographie<sup>101,106</sup> und Fluoreszenz-Angiographie<sup>105</sup> verglichen. Alle kamen zu insgesamt positiven Ergebnissen und sahen in der Thermographie eine zusätzliche Methode zur präoperativen Perforator-Identifikation.

Seit der Beschreibung durch Hardwicke et al.<sup>96</sup> im Jahr 2016 der Handheld-Kamera der Firma Flir wurde in mehreren Studien die Nutzung der Flir ONE und Flir ONE Pro beschrieben bzw. diese erfolgreich eingesetzt<sup>100,101,103,104</sup>.

Alle beschreiben die Nutzung der thermographischen Handheld-Kameras als schnelle und günstige Alternative zu den professionellen und hochpreisigen Kameras. Weiterhin ist die Identifikation von Hotspots trotz kleinerer Ungenauigkeit mehr als ausreichend zur Transplantatplanung<sup>96</sup>. Ein weitere Vorteil ist die geringe Untersuchervarianz<sup>101</sup>, die ein schnelles Erlernen dieser Methode ermöglicht.



Abbildung 21: FlirOne-Kamera-Modul Generation 2 der Firma Flir.

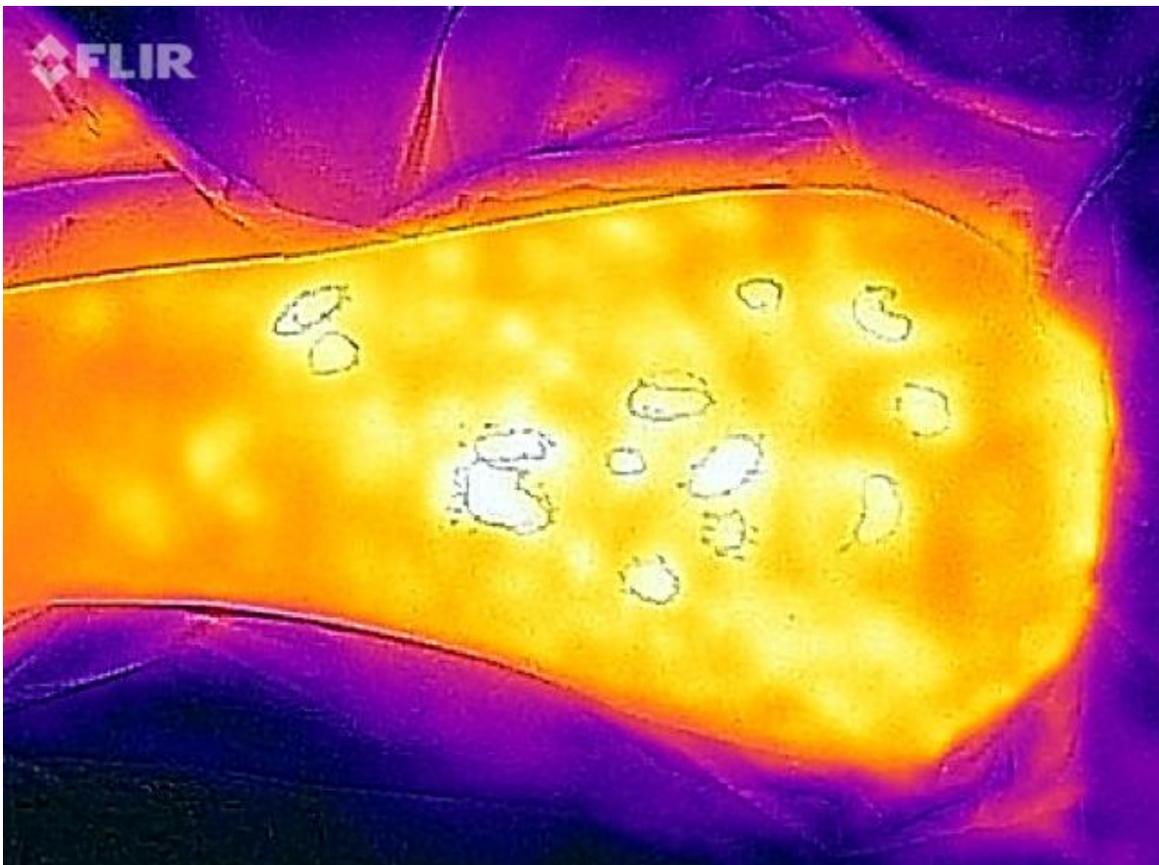


Abbildung 22: Thermographisches Bild eines linken Oberschenkels.

### **2.2.5.1 Physik, Funktion, Anwendung**

Jeder Körper mit einer Temperatur über dem absoluten Nullpunkt emittiert Wärmestrahlung. Diese wird mittels spezieller Kameras messbar bzw. für das menschliche Auge darstellbar gemacht, da diese Strahlung im infraroten, d.h. nicht sichtbaren Lichtspektrum liegt. Die aufgefangene Wärmestrahlung wird auf dem Bild der Kamera farbverfälscht dargestellt, um die Temperaturunterschiede abzubilden.

So ist es möglich, selbst kleinste Temperaturunterschiede an Objekten oder Körpern darzustellen<sup>107</sup>.

<b>Autor</b>	<b>Gerät</b>	<b>n=</b>	<b>Untersuchungsregion</b>	<b>Methode</b>	<b>Ergebnis</b>	<b>Beschreibung</b>
Paßmann et al. 2022 (diese Studie)	FLIR ONE	40 (20 Probanden, 20 Patienten)	PBAP, ALT, PNAP	statisch	ALT + PBAP/PNAP (+)	Prospektive Studie mit Vergleich der Probanden- (I+re) und Patientengruppe
Pereira et al. 2021 <sup>104</sup>	FLIR ONE Pro	25 Patienten	Oberschenkel, Unterschenkel, Fuß (lokale Flaps)	statisch	T. geeignet	Smartphone-Thermographie zur Perforatoridentifikation lokaler Lappenplastiken
Hallock et al. 2020 <sup>103</sup>	FLIR ONE Pro	1 Patient	Thorax (lokale Flaps)	dynamisch	T. geeignet	Smartphone-Thermographie zur Planung von Rotationsplastiken
Thiesen et al. 2019 <sup>97</sup>	unterschiedlich	-	DIEP	dynamisch	DIRT evtl. geeignet	Review: DIRT in der Planung von DIEP-Flaps
Patel et al. 2019 <sup>100</sup>	FLIR ONE	1 Patient	ALT	statisch	T. geeignet	Case Report: Thermographie zur Planung KPIF
Pereira et al. 2018 <sup>101</sup>	FLIR ONE	20	ALT	statisch	T. geeignet	Thermographie vs. CT-Angiographie (120 Perforatoren)
Hardwicke et al. 2016 <sup>96</sup>	FLIR ONE	11 (10 Probanden, 1 Patient)	DIEP, ALT	statisch	T. möglich	Smartphone-Thermographie zur Perforatoridentifikation
Weum et al. 2016 <sup>106</sup>	FLIR ThermoCAM S65 HS	25 Patienten	DIEP	dynamisch	T. möglich	Thermographie vs. CT-Angiographie
Niumsawatt et al. 2014 <sup>98</sup>	-	-	-	-	-	Thermographie zur präoperativen Transplantatplanung
Sheena et al. 2013 <sup>92</sup>	FLIR SC660	20 Probanden	ALT, DIEP, Sakralbereich	statisch	T. möglich	Thermographie zur Perforatoridentifikation
de Weerd et al. 2009 <sup>99</sup>	FLIR ThermoCAM S65 HS, Nikon Laird S270	23 Patienten	DIEP	dynamisch	DIRT geeignet	dynamische Thermographie DIEP-Flap- Planung
Kennedy et al. 2009 <sup>94</sup>	-	-	Mamma	statisch	kann Brust-krebs- Screening erleichtern	Thermographie zum Brustkrebscreening (Perfusionsmessung)
Miland et al. 2008 <sup>105</sup>	FLIR ThermoCAM S65 HS, Nikon Laird S270	8 Patienten	DIEP	dynamisch	DIRT geeignet	Thermographie vs. Fluoreszenz-Angiographie (Indocyanin)
Itoh et al. 1995 <sup>95</sup>	Infra Eye 180 (Fujitsu)	12 Probanden	DIEP, TAP	statisch	T. möglich	Thermographie zur Perforatoridentifikation

Tabelle 1: Auswahl thermographischer Studien.

	Thermographie	akustische Doppler-Sonographie	farbkodierte Duplex-Sonographie	kontrastmittel-unterstützte Sonographie	Fluoreszenz-Angiographie	CT/MRT mit Kontrastmittel
<b>Geräte-/Materialaufwand</b>	gering	gering	moderat	hoch	hoch	hoch
<b>Kosten</b>	ca. 200 € (Gerätekosten)	22,80 € (GOÄ)	68,40 € (GOÄ)	ca. 75,- € (Kontrastmitteldosis)	ca. 80-200 € (Kontrastmitteldosis)	570 € (GOÄ)
<b>Zeitaufwand</b>	gering	gering	gering bis moderat	moderat	moderat	hoch
<b>spezieller Untersuchungsraum</b>	nein	nein	eher ja	ja	nein	ja
<b>Patienten-/Hautkontakt</b>	nein	ja	ja	ja	ja	ja
<b>invasiver Eingriff</b>	nein	nein	nein	ja	ja	ja
<b>allergische Reaktion</b>	nein	sehr selten	sehr selten	möglich	sehr selten	möglich
<b>Erlernbarkeit</b>	leicht	eher leicht	mittel bis schwer	schwer	schwer	schwer
<b>Dokumentierbarkeit</b>	ja	nein	ja	ja	ja	ja
<b>grafische Darstellung</b>	ja	nein	ja	ja	ja	ja
<b>Untersuchungsdauer</b>	kurz	moderat	moderat	moderat		lang
<b>intraoperativ anwendbar</b>	ja	ja (mit Schutzhüllen)	ja (mit Schutzhüllen)	ja (mit Schutzhüllen)	ja	nein

Tabelle 2: Vor- und Nachteile der Methoden zur Perforatoridentifikation<sup>85,88,89,115</sup>.

## 2.3 Fragestellung

Die präoperative Vorbereitung einer Gewebetransplantation erfordert eine genaue Kenntnis der anatomischen Strukturen am Entnahmeort. Die anatomischen Landmarken sind wohl die am häufigsten genutzten Orientierungspunkte. Mit Hilfe dieser allgemeinen Landmarken lässt sich jedoch nicht die exakte patientenindividuelle Position eines Gefäßes oder Perforators bestimmen. Dazu sind weitere diagnostische Maßnahmen erforderlich.

Die sichere Identifikation eines Perforators erfolgt erst intraoperativ nach chirurgischer Exploration. Präoperativ lassen sich mit verschiedenen Untersuchungen Perforatoren in der Entnahmeregion identifizieren.

Viele dieser Methoden sind material- und kostenintensiv und teils erst nach einer Einarbeitungsphase verlässlich anwendbar (Tabelle 2). Manche müssen präoperativ durchgeführt werden, andere können intraoperativ eingesetzt werden.

Die akustische Dopplersonographie als Goldstandard stellt eine einfache Methode zur Perforatoridentifikation dar. Die Kosten für ein Handheld-Gerät sind gering. Jedoch können die Perforatoren nur mit Kontakt zum Patienten identifiziert werden. Auch eine Visualisierung ist im Situs nur indirekt möglich. Mittels farbkodierter Duplexsonographie ist eine Visualisierung möglich, jedoch aufwändiger.

Mit der Thermographie steht eine leicht zu erlernende Methode zu Verfügung, welche kontaktlos funktioniert. Eine thermographische Kamera ist klein und kann als Handheld-Gerät in jedem Raum und bei jeder Helligkeit benutzt werden. Außer der Kamera und einem Tablet oder Mobiltelefon werden keine weiteren Materialien benötigt.

Aufgrund der kontaktlosen Nutzung ist eine unkomplizierte intraoperative Identifikation möglich, um vor der Schnittführung Perforatoren einzuzichnen. Die mit der Kamera erstellten Aufnahmen können unproblematisch gespeichert werden.

Mit der FLIR-Kamera steht eine kostengünstige thermographische Kamera zur Verfügung. Bislang sind die Thermographie und die akustische Dopplersonographie nicht prospektiv miteinander verglichen worden.

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist der Vergleich einer thermographischen Kamera (FLIR) mit der akustischen Dopplersonographie.

Hierbei wird die Darstellung von Perforatorgefäßen untersucht. Perforatorgefäße haben für das Transplantatdesign von Fernlappenplastiken eine entscheidende Bedeutung.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen folgende Fragen geklärt werden:

- Lassen sich mit einer thermographischen Kamera Hotspots darstellen, welche auf Perforatorgefäße hinweisen?

- Wie verlässlich ist die Darstellung der Hotspots mittels Thermographie im Vergleich zum Akustikdoppler?
- Gibt es Unterschiede in der Darstellung an unterschiedlichen Entnahmeregionen (Oberarm, Oberschenkel, Unterschenkel)?

### **3 MATERIAL UND METHODEN**

#### **3.1 Probanden**

Nach einem positiven Ethikvotum vom 09.02.2017 durch die Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Ruhr-Universität Bochum, Standort Bad Oeynhausen (Aktenzeichen: 2017-150), wurden 10 männliche und 10 weibliche Teilnehmer zwischen 20 und 40 Jahren als Probandengruppe ausgewählt und nach Aufklärung eingeschlossen. Um eine homogene Probandengruppe mit vergleichbaren Untersuchungsergebnissen zu gewährleisten, wurden Probanden mit kardiovaskulären Erkrankungen, Diabetes mellitus Typ I & II sowie Autoimmun- und chronischen Hauterkrankungen ausgeschlossen.

#### **3.2 Patienten**

Im klinischen Umfeld wurden 20 Patienten der Klinik für Mund- Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie des Johannes Wesling-Klinikums Minden zufällig ausgewählt und nach Einwilligung untersucht. Hierbei wurden alle Patienten eingeschlossen. Patienten mit Erkrankungen, die das Gefäßsystem beeinflussen, wurden ebenfalls berücksichtigt und untersucht. Eine ausgewogene Geschlechterverteilung wurde beachtet.

#### **3.3 Untersuchungsaufbau und Durchführung**

Bei der Untersuchung wurde die etablierte Methode zur Perforator Identifikation mittels Doppler-Sonographie mit der thermographischen Kamera verglichen. Hierbei wurden Perforatoren an jeweils beiden Oberarmen, Oberschenkeln und Unterschenkeln untersucht. Die untersuchten Hautareale lagen in den üblichen Entnahmeregionen für freie fasziocutane, myocutane oder osteomyocutane Transplantate<sup>28,39,40,50,51,108</sup>.

Vor Untersuchungsbeginn wurden die Patienten angewiesen 20 Minuten flach zu liegen, um eine gleichmäßige Durchblutung der zu untersuchenden Extremitäten zu erreichen. Während dieser 20 Minuten waren die Untersuchungsregionen bzw. Extremitäten entblößt. Die Umgebungstemperatur lag bei allen Probanden während des gesamten Untersuchungszeitraums zwischen 20 und 23 Grad Celsius<sup>95</sup>.

Für jede Untersuchung wurden die nicht relevanten Körperregionen wie Bauch-/Becken-/Brustregion und das entsprechend andere Bein mittels OP-Tüchern und Laken abgedeckt. Damit wurde eine Überlagerung im thermographischen Bild vermieden. Außerdem konnten so Körperregionen mit durchschnittlich höheren Hauttemperaturen wie Achselhöhlen und Leistenregion abgedeckt werden, sodass der Temperaturbereich der Kamera kleiner war und auf diese Weise Unterschiede feiner abgestuft werden konnten.

Begonnen wurde mit der Untersuchung der Oberschenkel im Bereich der Entnahmestelle für ALT-Transplantate. Anschließend wurden die Unterschenkel an den Außenseiten zur Entnahme von Fibulatransplantaten und die Oberarme zur Entnahme von Oberarmtransplantaten gescannt.

Die thermographischen Aufnahmen erfolgten mit dem Wärmebildkamera-Aufsatz Flir ONE™ der Firma Flir (siehe Kapitel 3.2.1) für Apple-Geräte mit Lightning®-Anschluss. Zuerst wurden mithilfe eines thermographischen Live-Bildes hellere und somit wärmere Areale mittels eines schwarzen Stiftes markiert. Dabei wurde darauf geachtet, dass beim Markieren kein Hautkontakt bestand, da die

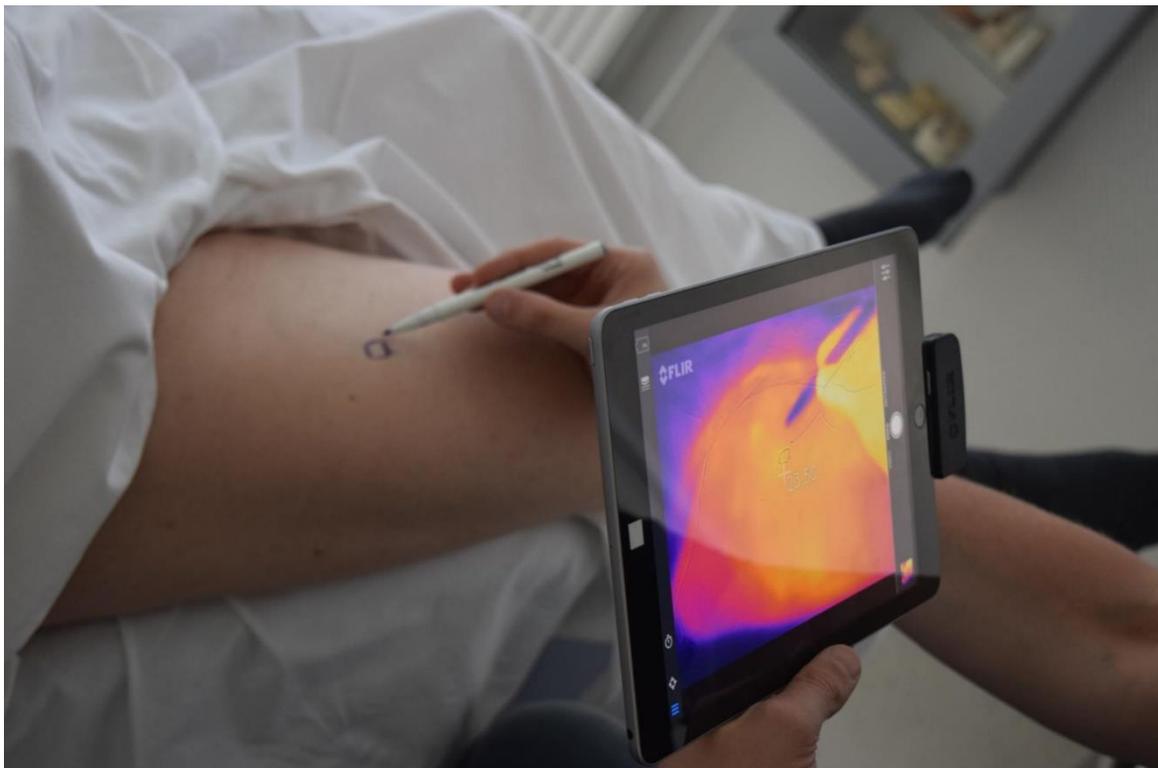


Abbildung 23: Markierung von Perforatorgefäßen mit Hilfe der FlirOne Gen2.

Berührungsstellen thermographisch sichtbar werden können. Das thermographische Bild wurde mit allen Markierungen in der Körperregion mit einem Abstand von 30-50 cm angefertigt. Im Anschluss daran erfolgte die Untersuchung bzw. Verifizierung der markierten Areale mittels eines Doppler-Sonogeräts (MD2 mit 8 MHz-Sonde von Huntleigh). Dabei wurde handelsübliches Ultraschallgel benutzt. Nach Auffinden eines sonographisch messbaren Perforators wurde dieser Punkt mit einer zweiten Farbe (rot) markiert.



Abbildung 24: Überprüfung des thermographisch identifizierten Perforators mittels Handheld-Doppler.

Nach Markierung beider Untersuchungsmethoden mittels unterschiedlicher Farben wurde ein Foto mit einer Nikon D3300 mit einem Nikon AF-S Nikkor DX 18-55mm 1:3,5-5,6G VR II Objektiv erstellt.

Zusätzlich wurden die Markierungen auf Folien durchgezeichnet, um eine exakte Untersuchung und Vermessung zu gewährleisten. Auf den Folien wurde immer die nach distal weisende Seite markiert. Diese Folien wurden mit einem HP Scanner mit 600 dpi eingescannt.

### **3.3.1 Flir One**

Für die thermographischen Aufnahmen wurde die Kamera Flir One Gen 2 von der Firma Flir (Flir Systems, Inc., Wilsonville, USA) benutzt. Die Kamera wurde mit einem Apple Ipad (2017) mittels Lightning-Anschluss verbunden. Die thermische Auflösung der Kamera beträgt 160x120 Punkte bei einer Pixelgröße von ca. 12 µm. Während des Untersuchungszeitraums von Januar 2017 bis August 2018 erfolgten mehrere Updates des Kameraprogramms auf dem Tablet (Version 2.0.51 – 3.2.2). An der Benutzbarkeit und dem Handling sowie den Ergebnissen änderten diese Aktualisierungen nichts.

### **3.4 Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung erfolgte mittels IBM SPSS Statistics in Version 25 sowie mit Microsoft Excel 2016.

Die Berechnung der Durchschnittswerte, Mediane und Standardabweichungen erfolgte in MS Excel. Ebenfalls mit MS Excel erfolgte die Berechnung der positiv prädiktiven Werte.

In der Untersuchungsgruppe der Probanden erfolgte die Untersuchung der drei Areale auf beiden Körperseiten. Mittels des Mann-Whitney-U-Tests wurden in SPSS signifikante Unterschiede zwischen den korrespondierenden Körperregionen ermittelt.

Die Überprüfung der Hypothese erfolgte in SPSS und wurde mittels einer nicht-parametrischen Stichprobe verifiziert. Die Null-Hypothese wurde hier auf den Wert 90 % festgelegt.

## **4 ERGEBNISSE**

Die Untersuchung der Probanden mittels Thermographie und Sonographie fand in zwei Gruppen statt. Die erste Gruppe bestand aus Probanden ohne Grunderkrankungen. Die zweite Gruppe setzte sich aus Patienten der Klinik für Mund-, Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie des Johannes Wesling-Klinikums Minden zusammen.

### **4.1 Probanden**

Die erste Untersuchungsgruppe bestand aus 20 Probanden, je 10 männlich und weiblich. Das Alter der Probanden lag zwischen 21 und 38 Jahren. Der durchschnittliche BMI lag bei 22,5 cm<sup>2</sup>/kg (Normalgewicht). Die Raumtemperatur während der Untersuchung lag zwischen 20 und 23°C.

Die Untersuchung erfolgte am Oberschenkel, Unterschenkel und Oberarm jeweils beidseits.

#### **4.1.1 ALT rechts**

Im Bereich der Entnahmestelle des ALT-Lappens rechts wurden bei allen Probanden zusammen insgesamt 117 thermographische und 97 sonographische Punkte dargestellt.

Die durchschnittliche Anzahl der thermographischen Punkte betrug 6,1 (SD 3,8; Min.-Max. 1-14), die der sonographischen 4,9 (SD 2,6; Min.-Max. 1-11).

Bei 31 Punkten lag der sonographische Punkt vollständig innerhalb des thermographischen. Bei 25 Punkten lag der sonographische Punkt zu über 50% innerhalb des thermographischen. Bei weiteren 35 Fällen betrug die Überschneidung weniger als 50%. Bei 8 Punkten bestand keine Überschneidung, jedoch konnte aufgrund der räumlichen Nähe eine Zugehörigkeit festgestellt werden. In 2 Fällen korrelierte ein sonographischer Punkt mit mehreren thermographischen Punkten. In 18 Fällen konnte der thermographische Punkt nicht sonographisch nachgewiesen werden.

Die Korrelation der Punkte zueinander betrug im Median 80%. Der positiv prädiktive Wert lag bei 0,85. Die Korrelation der thermographischen und sonographischen Punkte wich signifikant ( $p=0,031$ ) vom hypothetischen Median (90%) ab.

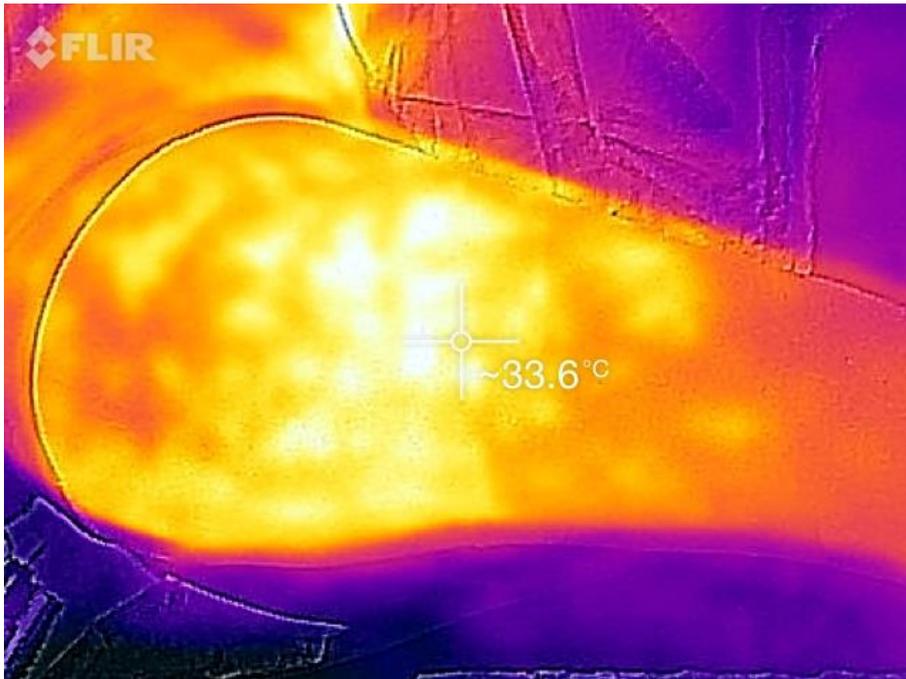


Abbildung 25: Thermographiebild eines rechten Oberschenkels.



Abbildung 26: rechter Oberschenkel mit eingezeichneten thermographischen Hotspots (schwarz) und sonographischen Punkten (rot).

#### **4.1.2 ALT links**

Im Bereich der Entnahmestelle des ALT-Lappens links gelangten bei allen Probanden zusammen insgesamt 126 thermographische und 108 sonographische Punkte zur Darstellung. Die durchschnittliche Anzahl der thermographischen Punkte betrug 6,2 (SD 3,1; Min.-Max. 1-13), die der sonographischen 5,4 (SD 2,4; Min.-Max. 1-11).

Bei 42 Punkten lag der sonographische Punkt vollständig innerhalb des thermographischen. Bei 17 Punkten lag der sonographische Punkt zu über 50% innerhalb des thermographischen. Bei weiteren 40 Fällen betrug die Überschneidung weniger als 50%. Bei 16 Punkten bestand keine Überschneidung, jedoch konnte aufgrund der räumlichen Nähe eine Zugehörigkeit festgestellt werden. In 7 Fällen korrelierte ein sonographischer Punkt mit mehreren thermographischen Punkten. In 11 Fällen konnte der thermographische Punkt nicht sonographisch nachgewiesen werden.

Die Korrelation der Punkte zueinander betrug im Median 87%. Der positiv prädiktive Wert lag bei 0,91. Die Korrelation der thermographischen und sonographischen Punkte wich nicht signifikant ( $p=0,532$ ) vom hypothetischen Median (90%) ab.

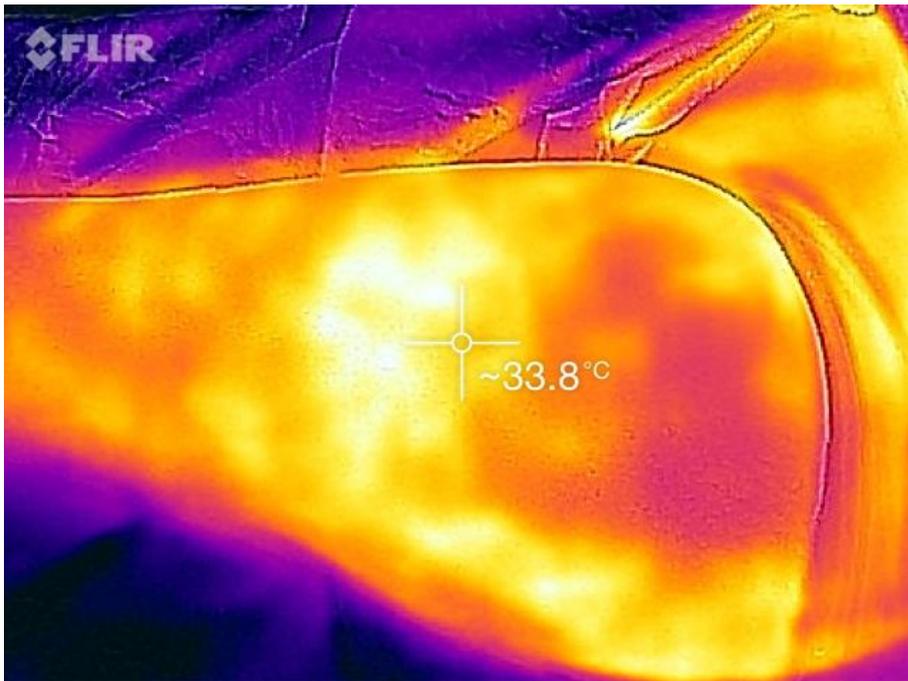


Abbildung 27: Thermographiebild eines linken Oberschenkels.

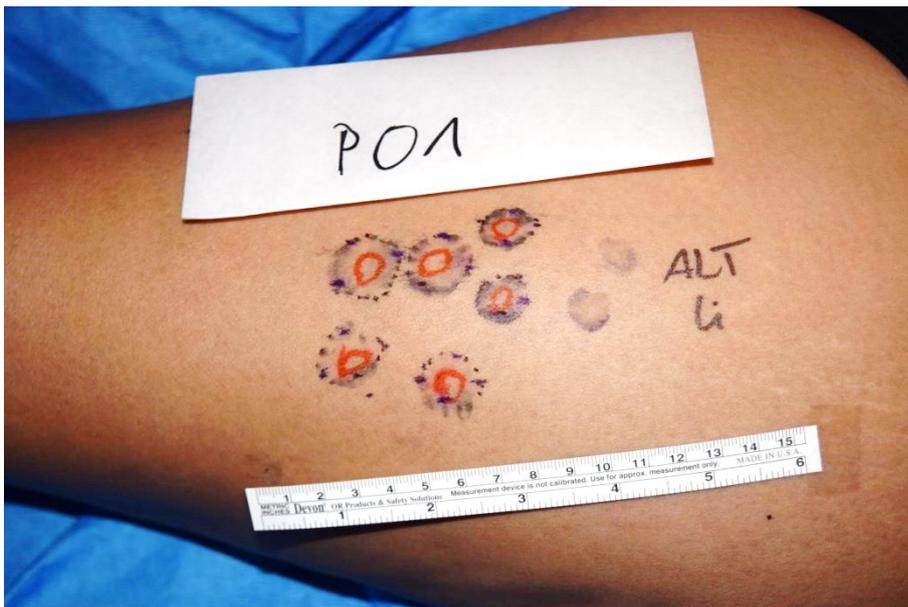


Abbildung 28: linker Oberschenkel mit eingezeichneten thermographischen Hotspots (schwarz) und sonographischen Punkten (rot).

### **4.1.3 Fibula rechts**

Im Bereich der Entnahmestelle des Fibula-Transplantats rechts wurden bei allen Probanden zusammen insgesamt 58 thermographische und 55 sonographische Punkte dargestellt.

Die durchschnittliche Anzahl der thermographischen Punkte betrug 2,9 (SD 1,5; Min.-Max. 1-6), die der sonographischen 2,8 (SD 1,3; Min.-Max. 1-6).

Bei 23 Punkten lag der sonographische Punkt vollständig innerhalb des thermographischen. Bei 12 Punkten lag der sonographische Punkt zu über 50% innerhalb des thermographischen. Bei weiteren 19 Fällen betrug die Überschneidung weniger als 50%. Bei 2 Punkten bestand keine Überschneidung, jedoch konnte aufgrund der räumlichen Nähe eine Zugehörigkeit festgestellt werden. In einem Fall korrelierte ein sonographischer Punkt mit mehreren thermographischen Punkten. In 2 Fällen konnte der thermographische Punkt nicht sonographisch nachgewiesen werden.

Die Korrelation der Punkte zueinander betrug im Median 100%. Der positiv prädiktive Wert lag bei 0,96. Die Korrelation der thermographischen und sonographischen Punkte wich nicht signifikant ( $p=0,783$ ) vom hypothetischen Median (90%) ab.

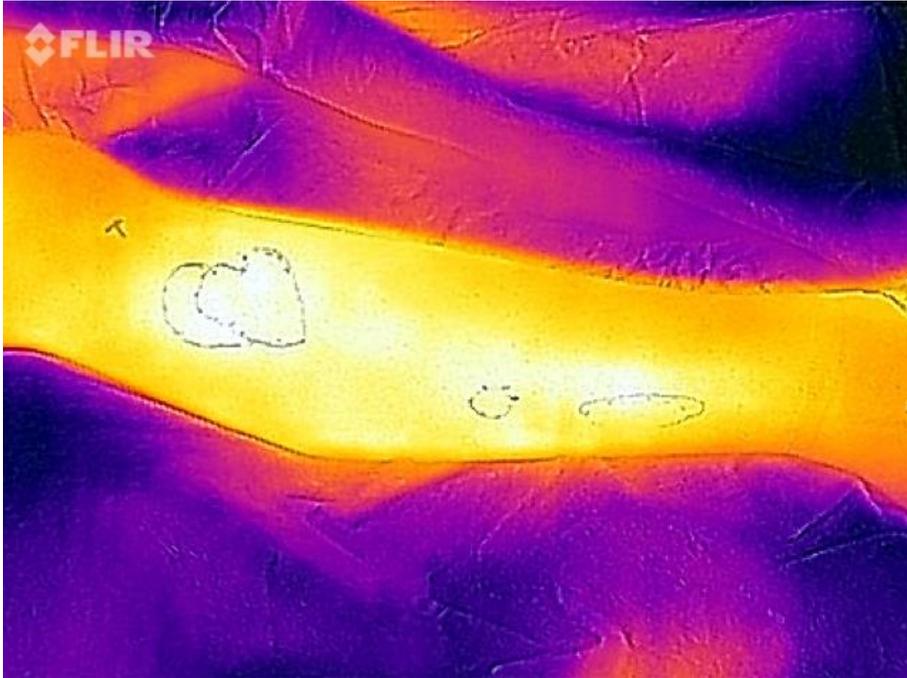


Abbildung 29: Thermographiebild eines rechten Unterschenkels.



Abbildung 30: rechter Unterschenkel mit eingezeichneten thermographischen Hotspots (schwarz) und sonographischen Punkten (rot).

#### **4.1.4 Fibula links**

Im Bereich der Entnahmestelle des Fibula-Transplantats links wurden bei allen Probanden zusammen insgesamt 64 thermographische und 56 sonographische Punkte dargestellt.

Die durchschnittliche Anzahl der thermographischen Punkte betrug 3,0 (SD 2; Min.-Max. 1-7), die der sonographischen 2,8 (SD 1,6; Min.-Max. 1-6).

Bei 17 Punkten lag der sonographische Punkt vollständig innerhalb des thermographischen.

Bei 12 Punkten lag der sonographische Punkt zu über 50% innerhalb des thermographischen.

Bei weiteren 25 Fällen betrug die Überschneidung weniger als 50%. Bei 5 Punkten bestand keine Überschneidung, jedoch konnte aufgrund der räumlichen Nähe eine Zugehörigkeit festgestellt werden. In einem Fall korrelierte mehrere sonographische Punkte mit einem thermographischen Punkt (Abbildung 32). In 4 weiteren Fällen korrelierte ein sonographischer Punkt mit mehreren thermographischen Punkten. In 5 Fällen konnte der thermographische Punkt nicht sonographisch nachgewiesen werden.

Die Korrelation der Punkte zueinander betrug im Median 100%. Der positiv prädiktive Wert lag bei 0,92. Die Korrelation der thermographischen und sonographischen Punkte wich nicht signifikant ( $p=0,417$ ) vom hypothetischen Median (90%) ab.

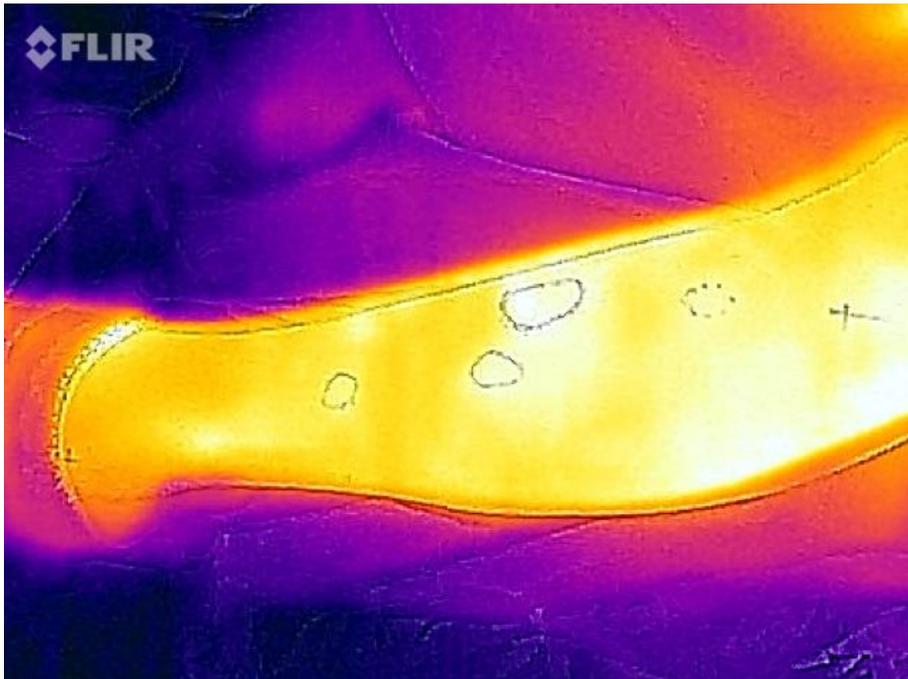


Abbildung 31: Thermographiebild eines linken Unterschenkels.

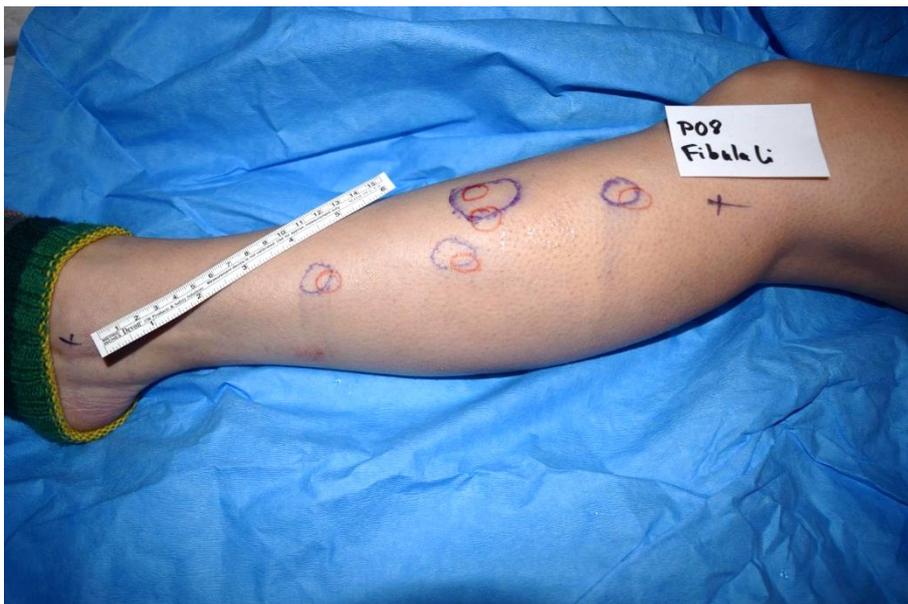


Abbildung 32: linker Unterschenkel mit eingezeichneten thermographischen Hotspots (schwarz) und sonographischen Punkten (rot).

#### **4.1.5 Oberarm rechts**

Im Bereich der Entnahmestelle des Oberarm-Lappens rechts wurden bei allen Probanden zusammen insgesamt 51 thermographische und 39 sonographische Punkte dargestellt.

Die durchschnittliche Anzahl der thermographischen Punkte betrug 2,6 (SD 1,5; Min.-Max. 0-6), die der sonographischen 2,0 (SD 1,0; Min.-Max. 1-4).

Bei 17 Punkten lag der sonographische Punkt vollständig innerhalb des thermographischen.

Bei 7 Punkten lag der sonographische Punkt zu über 50% innerhalb des thermographischen.

Bei weiteren 13 Fällen betrug die Überschneidung weniger als 50%. Bei 2 Punkten bestand keine Überschneidung, jedoch konnte aufgrund der räumlichen Nähe eine Zugehörigkeit festgestellt werden. In einem Fall korrelierte ein sonographischer Punkt mit mehreren thermographischen Punkten. In 12 Fällen konnte der thermographische Punkt nicht sonographisch nachgewiesen werden.

Die Korrelation der Punkte zueinander betrug im Median 83%. Der positiv prädiktive Wert lag bei 0,76. Die Korrelation der thermographischen und sonographischen Punkte wich nicht signifikant ( $p=0,058$ ) vom hypothetischen Median (90%) ab.

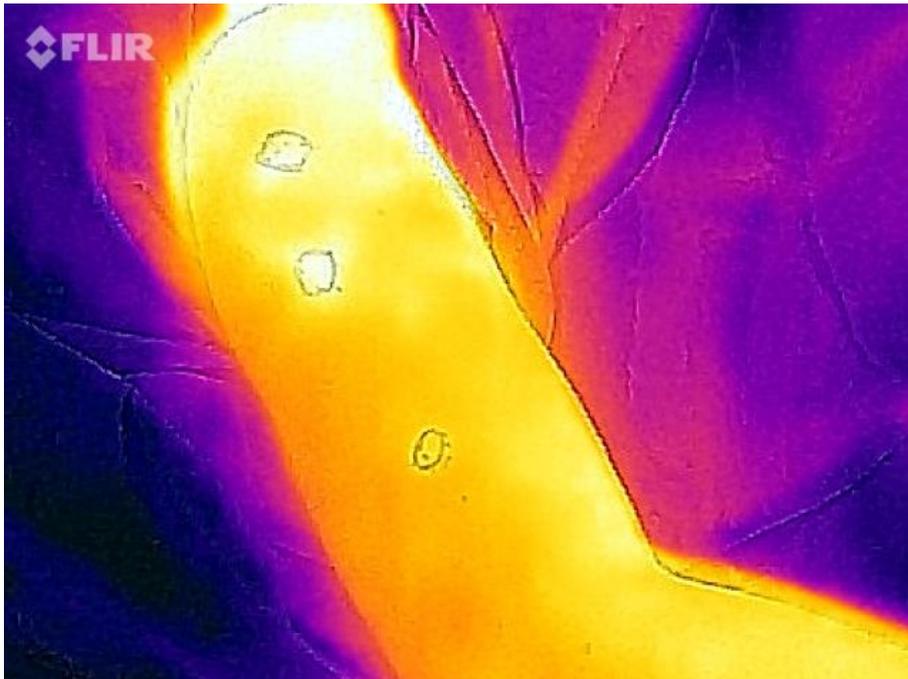


Abbildung 33: Thermographiebild eines rechten Oberarms.



Abbildung 34: rechter Oberarm mit eingezeichneten thermographischen Hotspots (schwarz) und sonographischen Punkten (rot).

#### **4.1.6 Oberarm links**

Im Bereich der Entnahmestelle des Oberarm-Lappens links wurden bei allen Probanden zusammen insgesamt 48 thermographische und 43 sonographische Punkte dargestellt.

Die durchschnittliche Anzahl der thermographischen Punkte betrug 2,4 (SD 1,3; Min.-Max. 1-5), die der sonographischen 2,2 (SD 1,4; Min.-Max. 0-5).

Bei 13 Punkten lag der sonographische Punkt vollständig innerhalb des thermographischen.

Bei 11 Punkten lag der sonographische Punkt zu über 50% innerhalb des thermographischen.

Bei weiteren 13 Fällen betrug die Überschneidung weniger als 50%. Bei 6 Punkten bestand keine Überschneidung, jedoch konnte aufgrund der räumlichen Nähe eine Zugehörigkeit festgestellt werden. In einem Fall korrelierte ein sonographischer Punkt mit mehreren thermographischen Punkten. In 5 Fällen konnte der thermographische Punkt nicht sonographisch nachgewiesen werden.

Die Korrelation der Punkte zueinander betrug im Median 100%. Der positiv prädiktive Wert lag bei 0,89. Die Korrelation der thermographischen und sonographischen Punkte wich nicht signifikant ( $p=0,783$ ) vom hypothetischen Median (90%) ab.

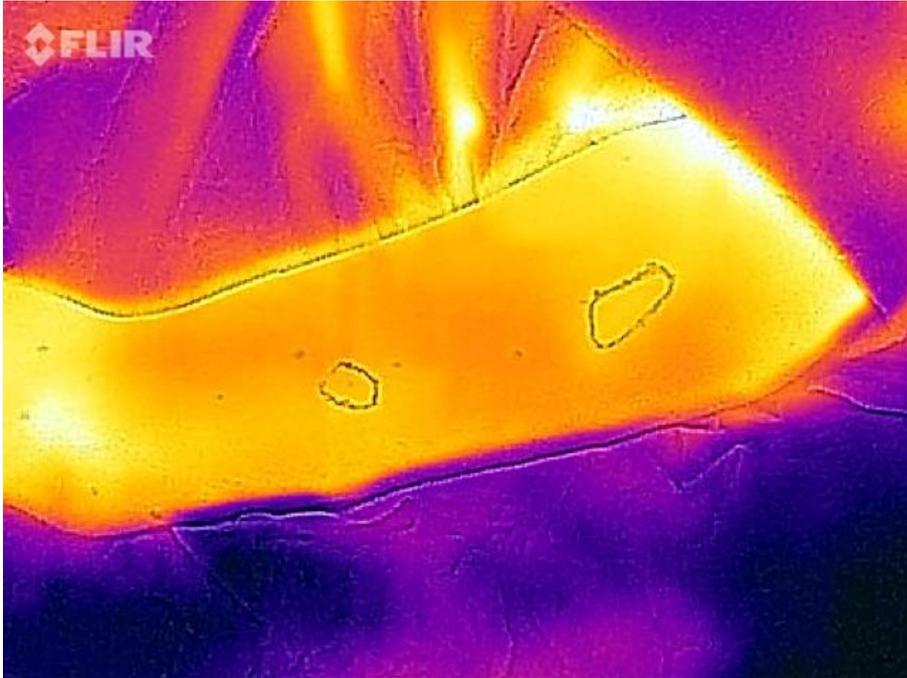


Abbildung 35: Thermographiebild eines linken Oberarms.



Abbildung 36: linker Oberarm mit eingezeichneten thermographischen Hotspots (schwarz) und sonographischen Punkten (rot).

#### 4.1.7 Seitenvergleich

Es erfolgte der Vergleich der korrespondierenden Körperseiten zwischen rechts und links. In der Entnahmeregion des ALT-Lappens unterschied sich weder die Anzahl der Thermographiepunkte ( $p=0,68$ ) noch die der Sonographiepunkte ( $p=0,38$ ) signifikant voneinander. Auch für die Entnahmestelle der Fibula ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in der Thermographie ( $p=0,86$ ) und Sonographie ( $p=0,88$ ). An der Oberarm-Entnahmestelle zeigten sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede (Thermographie  $p=0,68$  und Sonographie  $p=0,78$ ).

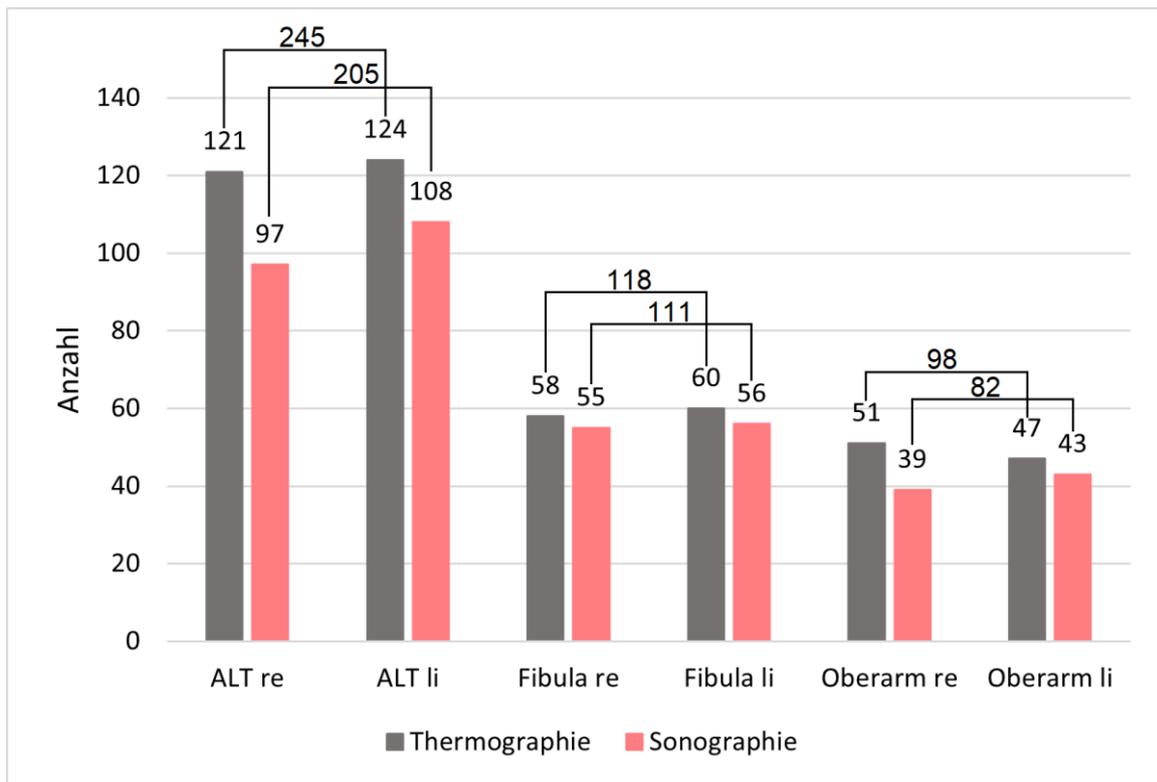


Abbildung 37: Anzahl der gemessenen thermographischen Hotspots und sonographischen Perforatoren.

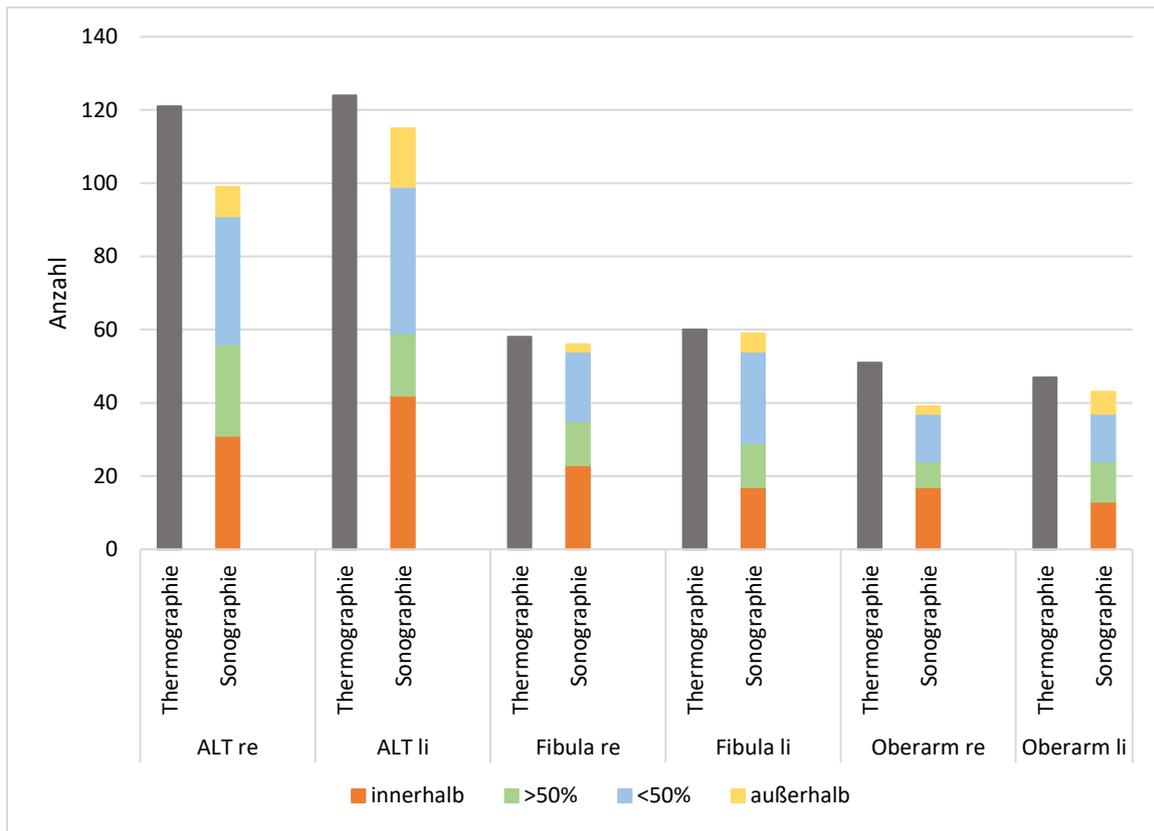


Abbildung 38: Anzahl thermographischer Hotspot und doppler-sonographischer Perforatoren. Aufteilung der Perforatoren nach Lage zum thermographischen Hotspot.

## **4.2 Patienten**

Die zweite Untersuchungsgruppe bestand aus 20 Patienten, 9 weiblichen und 11 männlichen. Das Alter der Patienten lag zwischen 38 und 87 Jahren. Der durchschnittliche BMI lag bei 26,8 cm<sup>2</sup>/kg. Die Raumtemperatur während der Untersuchung lag zwischen 21 und 22°C.

Aufgrund der Zwischenauswertung in der Probandengruppe, bei der keine signifikanten Unterschiede zwischen rechts und links aufgetreten waren, wurde in der Patientengruppe nur jeweils ein Oberschenkel, Unterschenkel und Oberarm untersucht.

Zwei der Patienten waren Raucher. Zwei weitere hatten in der Vergangenheit regelmäßig geraucht. Vier Patienten hatten eine Varikosis der Beine bzw. wurden aufgrund dieser behandelt. Sechs Patienten litten an kardiovaskulären Erkrankungen. Ein Patient litt am Sjögren-Syndrom.

### 4.2.1 ALT

Im Bereich der Entnahmestelle des ALT-Lappens wurden bei allen Probanden zusammen insgesamt 99 thermographische und 85 sonographische Punkte dargestellt.

Die durchschnittliche Anzahl der thermographischen Punkte betrug 4,9 (SD 3,0; Min.-Max. 1-12), die der sonographischen 4,3 (SD 2,5; Min.-Max. 1-10).

Bei 21 Punkten lag der sonographische Punkt vollständig innerhalb des thermographischen. Bei 25 Punkten lag der sonographische Punkt zu über 50% innerhalb des thermographischen. Bei weiteren 36 Fällen betrug die Überschneidung weniger als 50%. Bei 9 Punkten bestand keine Überschneidung, jedoch konnte aufgrund der räumlichen Nähe eine Zugehörigkeit festgestellt werden. In 4 Fällen korrelierte ein sonographischer Punkt mit mehreren thermographischen Punkten. In 8 Fällen konnte der thermographische Punkt nicht sonographisch nachgewiesen werden.

Die Korrelation der Punkte betrug im Median 79%. Der positiv prädiktive Wert lag bei 0,91. Die Korrelation der thermographischen und sonographischen Punkte wich nicht signifikant ( $p=0,26$ ) vom hypothetischen Median (90%) ab.

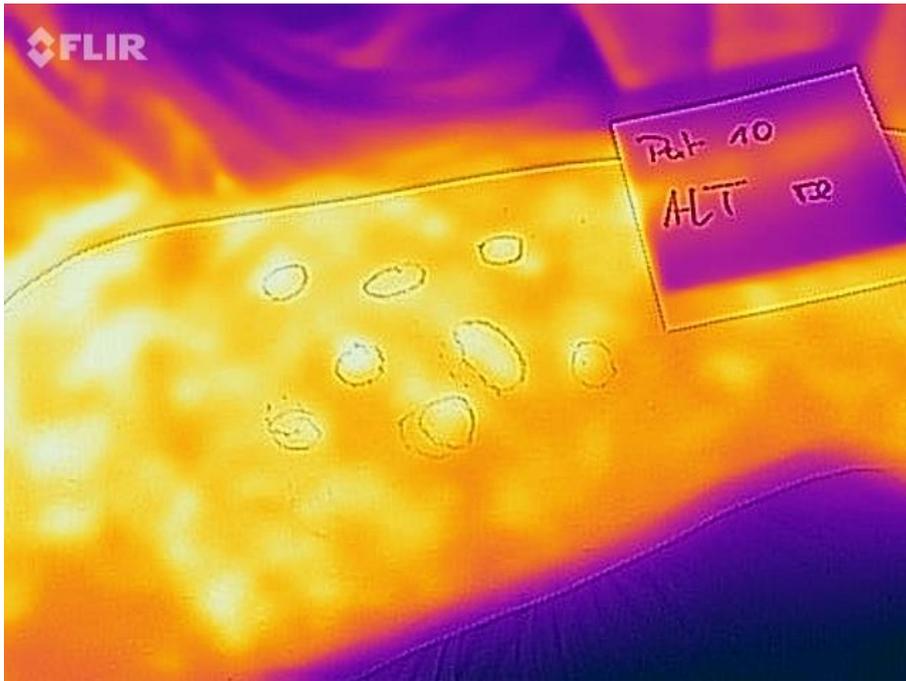


Abbildung 39: Thermographiebild eines rechten Oberschenkels (Patientengruppe).

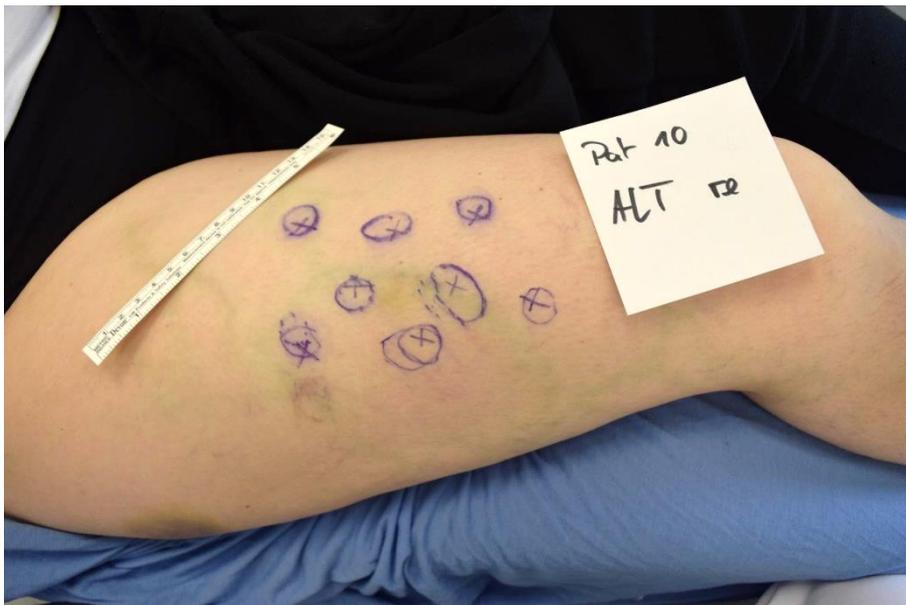


Abbildung 40: rechter Oberschenkel mit eingezeichneten thermographischen Hotspots (Kreise) und sonographischen Punkten (Kreuze).

### **4.2.2 Fibula**

Im Bereich der Entnahmestelle des Fibula-Transplantates wurden bei allen Probanden zusammen insgesamt 55 thermographische und 53 sonographische Punkte dargestellt.

Die durchschnittliche Anzahl der thermographischen (SD 1,4; Min.-Max. 1-6) und sonographischen (SD 1,1; Min.-Max. 1-5) Punkte betrug 2,8.

Bei 25 Punkten lag der sonographische Punkt vollständig innerhalb des thermographischen.

Bei 9 Punkten lag der sonographische Punkt zu über 50% innerhalb des thermographischen.

Bei weiteren 17 Fällen betrug die Überschneidung weniger als 50%. Bei 5 Punkten bestand keine Überschneidung, jedoch konnte aufgrund der räumlichen Nähe eine Zugehörigkeit festgestellt werden. In einem Fall korrelierten mehrere sonographische Punkte mit einem thermographischen Punkt. In 2 Fällen konnte der thermographische Punkt nicht sonographisch nachgewiesen werden.

Die Korrelation der Punkte zueinander betrug im Median 100%. Der positiv prädiktive Wert lag bei 0,97. Die Korrelation der thermographischen und sonographischen Punkte wich nicht signifikant ( $p=0,83$ ) vom hypothetischen Median (90%) ab.



Abbildung 41: Thermographiebild eines rechten Unterschenkels (Patientengruppe).



Abbildung 42: rechter Unterschenkel mit eingezeichneten thermographischen Hotspots (Kreise) und sonographischen Punkten (Kreuze).

### **4.2.3 Oberarm**

Im Bereich der Entnahmestelle des Oberarm-Lappens wurden bei allen Probanden zusammen insgesamt 47 thermographische und 40 sonographische Punkte dargestellt.

Die durchschnittliche Anzahl der thermographischen Punkte betrug 2,4 (SD 1,0; Min.-Max. 1-4), die der sonographischen 2,0 (SD 0,7; Min.-Max. 1-3).

Bei 13 Punkten lag der sonographische Punkt vollständig innerhalb des thermographischen. Bei 16 Punkten lag der sonographische Punkt zu über 50% innerhalb des thermographischen. Bei weiteren 11 Fällen betrug die Überschneidung weniger als 50%. Bei einem Punkt bestand keine Überschneidung, jedoch konnte aufgrund der räumlichen Nähe eine Zugehörigkeit festgestellt werden. In einem Fall korrelierte ein sonographischer mit mehreren thermographischen Punkten. In 7 Fällen konnte der thermographische Punkt nicht sonographisch nachgewiesen werden.

Die Korrelation der Punkte zueinander betrug im Median 88%. Der positiv prädiktive Wert lag bei 0,85. Die Korrelation der thermographischen und sonographischen Punkte wich nicht signifikant ( $p=0,59$ ) vom hypothetischen Median (90%) ab.

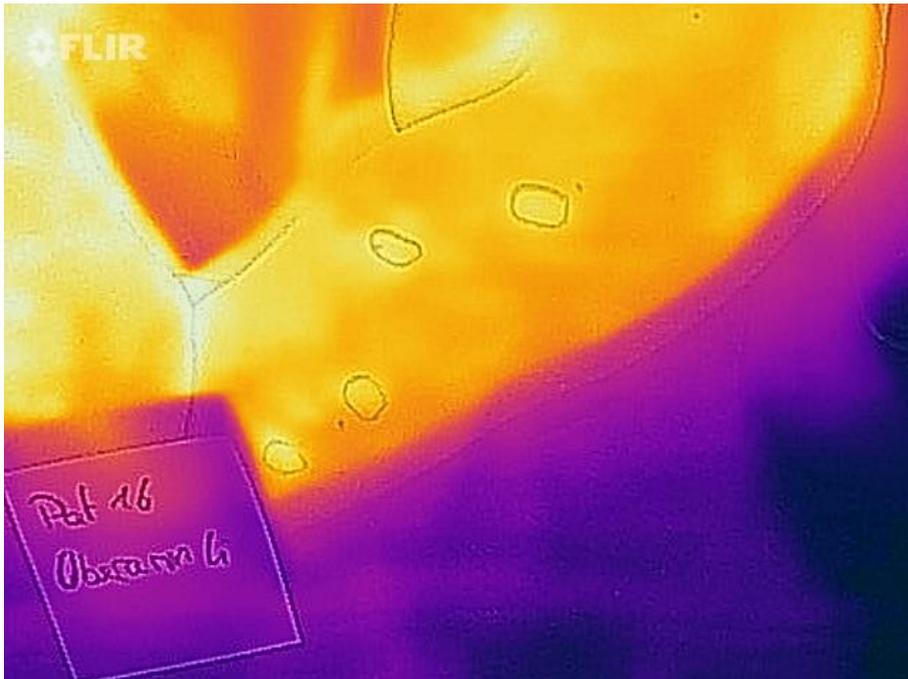


Abbildung 43: Thermographiebild eines linken Oberarms (Patientengruppe).



Abbildung 44: linker Oberarm mit eingezeichneten thermographischen Hotspots (Kreise) und sonographischen Punkten (Kreuze).

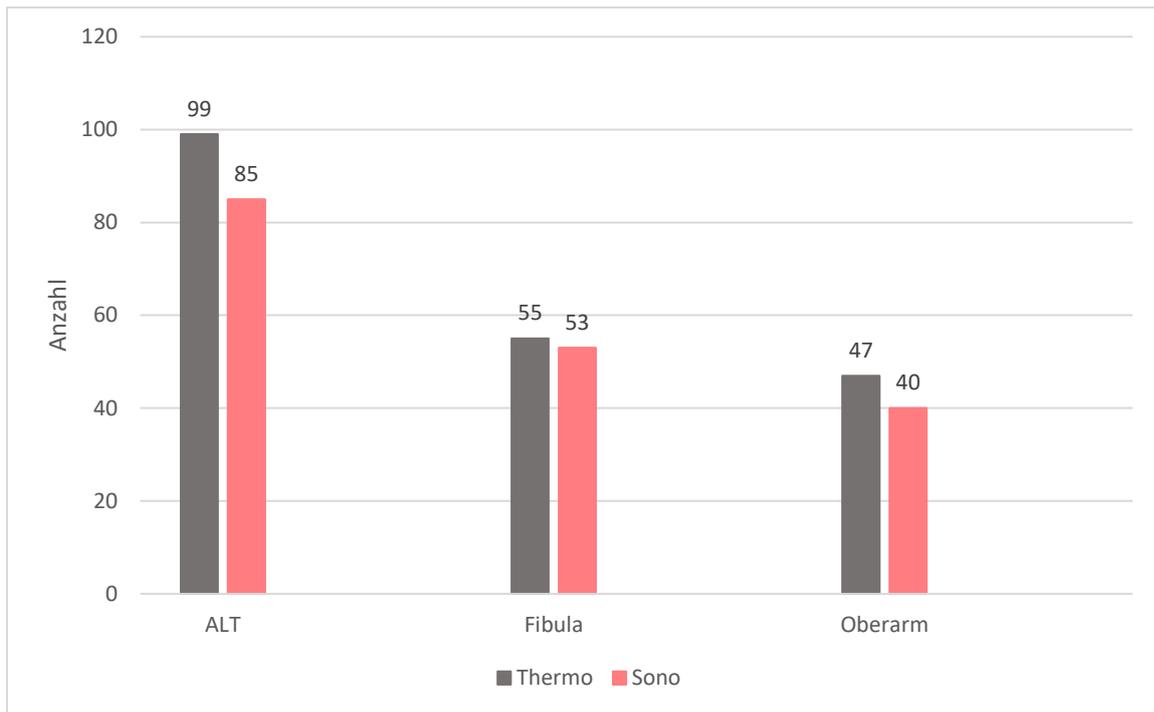


Abbildung 45: Anzahl der gemessenen thermographischen Hotspots und sonographischen Perforatoren.

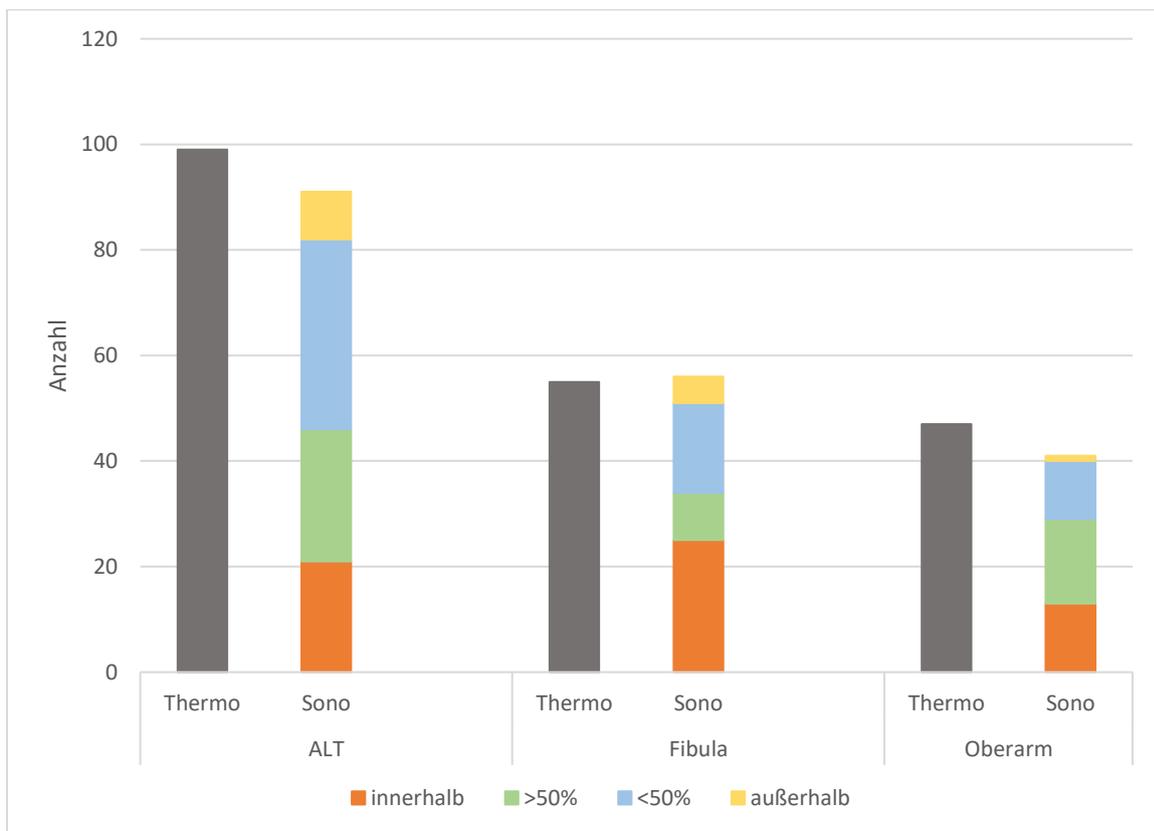


Abbildung 46: Anzahl thermographischer Hotspot und doppler-sonographischer Perforatoren. Aufteilung der Perforatoren nach Lage zum thermographischen Hotspot.

	Thermographie Anzahl		Sonographie Anzahl		Korrelation (Median)	pos. präd. Wert
	n	Ø	n	Ø		
<b>Probanden</b>						
ALT re	117	6,1	97	4,9	80%	0,85
ALT li	126	6,2	108	5,4	87%	0,91
Fibula re	58	2,9	55	2,8	100%	0,96
Fibula li	64	3,0	56	2,8	100%	0,92
Oberarm re	51	2,6	39	2,0	83%	0,76
Oberarm li	48	2,4	43	2,2	100%	0,89
<b>Patienten</b>						
ALT	99	4,9	85	4,3	79%	0,91
Fibula	55	2,8	53	2,8	100%	0,97
Oberarm	47	2,4	40	2,0	88%	0,85

Tabelle 3: Zusammenfassung der Ergebnisse mit der Gesamtzahl und dem Durchschnitt gemessener thermographischer Hotspots und doppler-sonographischer Punkte, sowie der prozentualen Korrelation von thermographischen und doppler-sonographischen Punkte unter Angabe des positiven prädiktiven Wertes.

	Lage mit Korrelation				kein Sono- Punkt	p<0,05
	100%	>50%	<50%	außerhalb		
<b>Probanden</b>						
ALT re	31	25	35	8	18	0,031
ALT li	42	17	40	16	11	0,532
Fibula re	23	12	19	2	2	0,783
Fibula li	17	12	25	5	5	0,417
Oberarm re	17	7	13	2	12	0,058
Oberarm li	13	11	13	6	5	0,783
<b>Patienten</b>						
ALT	21	25	36	9	8	0,259
Fibula	25	9	17	5	2	0,831
Oberarm	13	16	11	1	7	0,589

Tabelle 4: Zusammenfassung der Ergebnisse mit Signifikanz der Korrelation (p<0,05). Die Lage mit Korrelation zeigt die Korrelation von thermographischen und doppler-sonographischen Punkten, wobei die Lage des Sonographiepunktes zu 100%, >50%, <50% oder außerhalb des thermographischen Punktes lag, jedoch eine Zuordnung möglich war. p zeigt die Signifikanz der Korrelation an.

## 5 DISKUSSION

In dieser Untersuchung wurde sowohl eine Probandengruppe als auch eine Patientengruppe mit jeweils 20 Teilnehmern am Oberarm, Oberschenkel und Unterschenkel systematisch untersucht. Eine Unterteilung in die gesunde Probandengruppe und die Patientengruppe erfolgte, da die Möglichkeit einer Abweichung bei nicht gesunden Patienten von der Probandengruppe bestand. Diese Unterscheidung fehlt in den meisten Studien zu thermographischer Perforatoridentifikation (Tabelle 1). Oft werden Fallzahlen von ca. 20 Patienten mit Behandlungsbedarf gewählt<sup>92,99,101,104</sup> oder wenige Fälle beschrieben<sup>96,100,103,105</sup>. In der Probandengruppe wurden sowohl die linke als auch die rechte Seite in jeweils allen drei Regionen untersucht. Dabei wurden keine signifikanten Unterschiede zur jeweils anderen Körperseite festgestellt (Tabelle 5), sodass die Untersuchung von weiteren 20 Patienten sich auf nur einer Körperseite beschränkte. Möglicherweise relevante Grunderkrankungen wie Gefäß- und Bindegewebserkrankungen wurden nicht explizit ausgeschlossen. Auch hier ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in der Anzahl der detektierbaren thermographischen Hotspots (Tabelle 6) zur Probandengruppe.

### 5.1 Analyse Probandengruppe

Die Untersuchungsgruppe der Probanden bestand aus einer relativ homogenen Untersuchungsgruppe mit einem Durchschnittsalter von 26,2 ( $\pm 5$ ) Jahren.

Die statistische Auswertung zeigte, dass im Seitenvergleich keine signifikanten Unterschiede in der Anzahl der doppler-sonographischen oder thermographischen Hotspots vorlagen ( $p > 0,05$ ). Aufgrund dessen wurde in der folgenden Untersuchung der Patientengruppe jeweils nur eine Seite untersucht.

	Probanden (n=20)		t-Test ( $p > 0,05$ )
	rechts	links	
ALT	117	126	0,895
Fibula	58	64	0,862
Oberarm	51	48	0,656

Tabelle 5: Anzahl der thermografisch detektierten Perforatoren in der Probandengruppe.

Je nach Untersuchungsregion unterschied sich die Anzahl der Perforatoren deutlich. So wurden in der Entnahmeregion des ALT mittels Thermographie mehr als doppelt so viele Hotspots detektiert (Faktor 2,21-2,52), als am Unterschenkel oder am Oberarm. Ein ähnliches Bild zeigte sich für die doppler-sonographischen Untersuchungen. Jedoch war hierbei der Unterschied bei einem Faktor von 1,75 bis 1,92 weniger stark ausgeprägt.

Dieser Unterschied ist durch die anatomischen Gegebenheiten erklärbar. So ist die Fläche der Entnahmeregion im Bereich des Oberschenkels deutlich größer als im Bereich der Fibula oder

des Oberarms. Außerdem bieten die anatomischen Variationen der Vaskularisation hier möglicherweise eine erhöhte Anzahl von Perforatoren<sup>49,51</sup>.

Mit einem durchschnittlichen Übereinstimmungswert von über 90 % bestand insgesamt eine hohe Übereinstimmung zwischen thermographischen und doppler-sonographischen Punkten. Nur in der Untersuchungsregion des rechten ALT wich die Thermographie signifikant von der Doppler-Sonographie ab ( $p=0,031$ ).



Abbildung 47: Darstellung der thermographischen Hotspots am Oberschenkel (links) und der anschließenden Darstellung mittels Doppler (rechts, rot).

Hier ist jedoch zu beachten, dass die Anzahl der thermographischen Hotspots rechts nicht signifikant von der linken Seite abwich ( $p=0,895$ , siehe Tabelle 5). Erst nachdem thermographische Hotspots mit doppler-sonographischen Punkten korreliert wurden, wichen die Werte des rechten Oberschenkels vom linken ab. Diese Abweichung könnte aufgrund der Untersuchungsreihenfolge entstanden sein. So wurde der rechte Oberschenkel immer als erstes untersucht, sodass bei der Doppler-Sonographie verhältnismäßig weniger Perforatoren

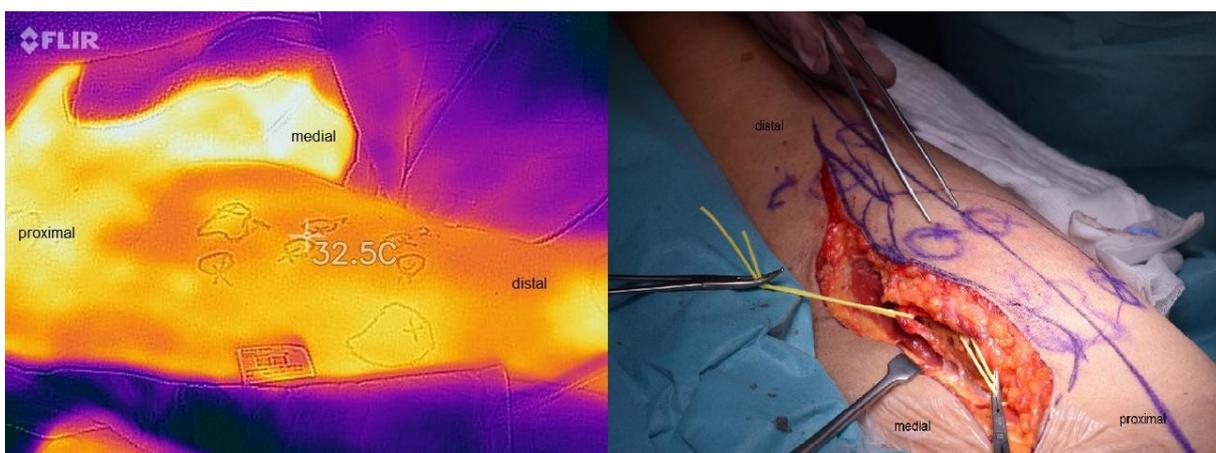


Abbildung 48: Präoperative Thermographie und anschließender intraoperativer Nachweis der Perforatoren.

gefunden wurden. Möglich ist, dass sich der Untersucher bei der doppler-sonographischen Untersuchung erst auf die individuellen Gegebenheiten – wie zum Beispiel Hautbeschaffenheit oder Gewebefestigkeit – des Probanden bzw. Patienten einstellen musste.

Als Übereinstimmung wurde eine Korrelation des thermographischen und des dopplersonographischen Punktes gewertet. Das gilt sowohl bei vollständig übereinander liegenden Punkten als auch bei sich teilweise überschneidenden oder nebeneinander liegenden Punkten.

Die typische Entnahmeregion eines ALT-Transplantats liegt um den Mittelpunkt einer Verbindungslinie zwischen der Spina iliaca anterior superior und des lateralen oberen Patellarandes<sup>23,36</sup>.

In der Probandengruppe lagen in ca. 90 % der Fälle (links 85 %, rechts 95 %) die thermographisch erfassten Hotspots in dieser Region. Diese Punkte konnten alle sonographisch nachgewiesen werden. Aufgrund dieses Nachweises und der dort beschriebenen Perforatorgefäßen<sup>23,36</sup>, kann auf eine korrekte Erfassung der Perforatoren durch die thermographische Kamera geschlossen werden.

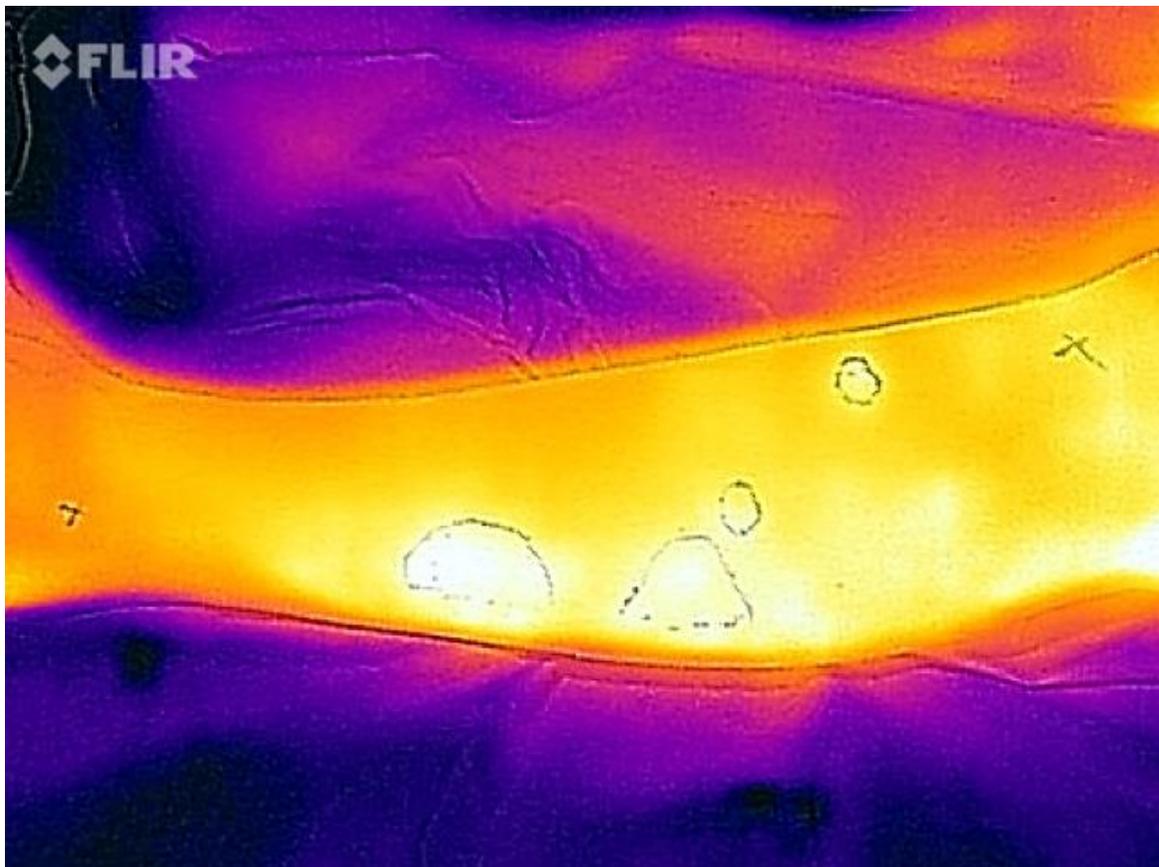


Abbildung 49: Thermographische Darstellung von Hotspots am Unterschenkel, mit fehlender Abgrenzbarkeit zu ebenfalls erwärmten dorsalen Hautarealen.

Das osteomyokutane Fibulatransplantat wird am lateralen Unterschenkel entnommen<sup>28,36</sup>. Die distale Osteotomielinie befindet sich mindestens 8 cm oberhalb des Malleolus lateralis, die proximale liegt zum Schutz des N. peroneus mindestens 6 cm unterhalb des Caput fibulae. Der Bereich des distalen Unterschenkels oberhalb des Malleolus lateralis wird als der günstigste Entnahmeort beschrieben, da hier die perforierenden Gefäße gut ausgebildet sind<sup>36</sup>. Die entnommene Hautinsel sollte nicht mehr als 6x10 cm messen.

Die thermographischen Messungen ergaben in dieser Region in 70 % rechts und 60 % links einen „Hotspot“. Diese Abweichung von den Werten am Oberschenkel kann mehrere Ursachen haben. In einer entspannten Liegeposition ist das Bein und damit der Unterschenkel leicht nach außen rotiert. Somit bildet sich an der Grenze zur Unterlage eine insgesamt wärmere Hautschicht. Hierdurch sind mögliche Perforatoren nicht mehr eindeutig von der umgebenden Haut abgrenzbar (Abbildung 49). Bei der thermographischen Untersuchung wurde der Proband angewiesen, den Unterschenkel bzw. das Bein nach innen zu rotieren. Das geschah direkt vor der Untersuchung, da die überwiegende Mehrzahl der Patienten angab, dass diese Lage über einen längeren Zeitraum anstrengend sei. Folglich waren teils relevante Regionen noch vom Kontakt zur Unterlage erwärmt und ergaben weniger aussagekräftige Hotspots. Des Weiteren kommt es in einer liegenden Position und Innenrotation des Unterschenkels meist zu einer Plantarflexion des Fußes, verbunden unter anderem mit einer Anspannung der Muskeln der Fibularis-Loge, d.h. der Mm. peroneus longus und brevis<sup>35</sup>. In der Literatur werden sowohl septocutane als auch myocutane Hautperforatoren beschrieben<sup>109–111</sup>. Aufgrund dessen erscheint es möglich, dass bei einer Innenrotation des Unterschenkels mit einer Plantarflexion die Perfusion der Hautperforatoren wegen der erhöhten Muskelspannung abnimmt und so eine thermographische Identifikation zumindest erschwert wird.



Abbildung 50: Darstellung der thermographischen Hotspots am Unterschenkel (links) und der anschließenden Darstellung mittels Doppler (rechts, rot).

Das Oberarm-Transplantat wird am lateralen Oberarm knapp oberhalb des Epicondylus lateralis gehoben<sup>36,40</sup>. Der distale Rand der Hautinsel liegt etwa 1-2 cm oberhalb des Epicondylus, während die proximale Begrenzung ca. 4-6 cm unterhalb des Deltoidrandes liegt. Das versorgende Gefäß verläuft im Septum zwischen den Mm. biceps und triceps brachii. So sind maximale Größen von 12x6 cm möglich.

In der thermographischen Bildgebung wurde in der Probandengruppe in nur etwa 40 % der Fälle ein Hotspot in der oben beschriebenen Entnahmeregion registriert. In der Patientengruppe betrug der Wert 50 %. Insgesamt lag die Anzahl der detektierten Hotspots der Oberarme durchschnittlich 18 % unter der Anzahl der am Unterschenkel detektierten Hotspots.

Diese Abweichung könnte aufgrund des durchschnittlich geringeren Gefäßdurchmessers bestehen. Der mittlere Durchmesser für die A. collateralis radialis posterior wird 1,2 – 1,5 mm angegeben<sup>40,112,113</sup>, während die A. circumflexa femoris mit 1,5 – 2,5 mm einen erheblich größeren Durchmesser aufweist<sup>114</sup>. Aufgrund der in dieser Untersuchung verwendeten Handheld-Kamera könnte die Empfindlichkeit nicht ausreichend für die Detektion der Perforatoren am lateralen Oberarm sein.

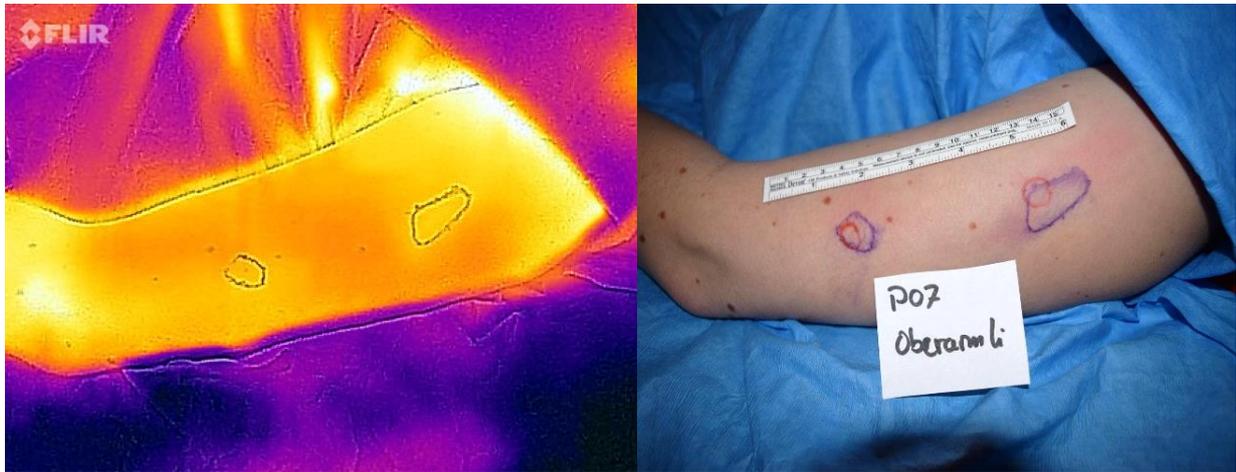


Abbildung 51: Darstellung der thermographischen Hotspots am Oberarm (links) und der anschließenden Darstellung mittels Doppler (rechts, rot).

## 5.2 Analyse Patientengruppe

In der ersten Untersuchungsgruppe erfolgte die Auswahl von Probanden innerhalb der Altersgruppe zwischen 20 und 40 Jahren ohne Vorerkrankungen und mit einem normwertigen BMI.

Diese Kriterien wurden bei der Auswahl der Patienten der zweiten Untersuchungsgruppe nicht angelegt. Der in dieser Gruppe beobachtete durchschnittliche BMI von 26,8 cm<sup>2</sup>/kg lag nur leicht über Normalgewichtigkeit (18,5 – 25 cm<sup>2</sup>/kg). Es zeigte sich, dass sich die Anzahl der detektierten Hotspots bei Normalverteilung nicht signifikant (Tabelle 6) von der Probandengruppe unterschied.

	Probanden (n=20)		Patienten (n=20)	t-Test (p>0,05)
	rechts	links		
ALT	117	126	99	0,213
Fibula	58	64	58	0,668
Oberarm	51	48	48	0,770

Tabelle 6: Anzahl der thermografisch detektierten Perforatoren in der Probanden- und Patientengruppe.

Der größte Unterschied bestand in der Entnahmeregion des ALT im Vergleich zu den Entnahmeregionen am Unterschenkel und am Oberarm. Das lässt sich mit der insgesamt größeren Anzahl von thermographischen und sonographischen Perforatoren erklären.

### 5.3 Perforatoridentifikation und Thermographie

Der Verlauf eines Perforatorgefäßes kann auf unterschiedlichen Wegen erfolgen<sup>76</sup>.

So ist es möglich, dass ein Gefäß nach Abzweigung aus dem Hauptgefäß direkt durch die Faszie oder andere Gewebe durchtritt (Abbildung 52 A). Eine weitere Möglichkeit ist, dass nach Abzweigen eines Perforators, dieser eine gewisse Strecke in der Faszie etc. verläuft und dann erst in die Haut perforiert (Abbildung 52 B). Eine dritte Möglichkeit besteht in einem parallelen Verlauf nach Abzweigen aus dem Hauptgefäß und dann erst erfolgreicher Perforation durch die Faszie in die Haut (Abbildung 52 C).

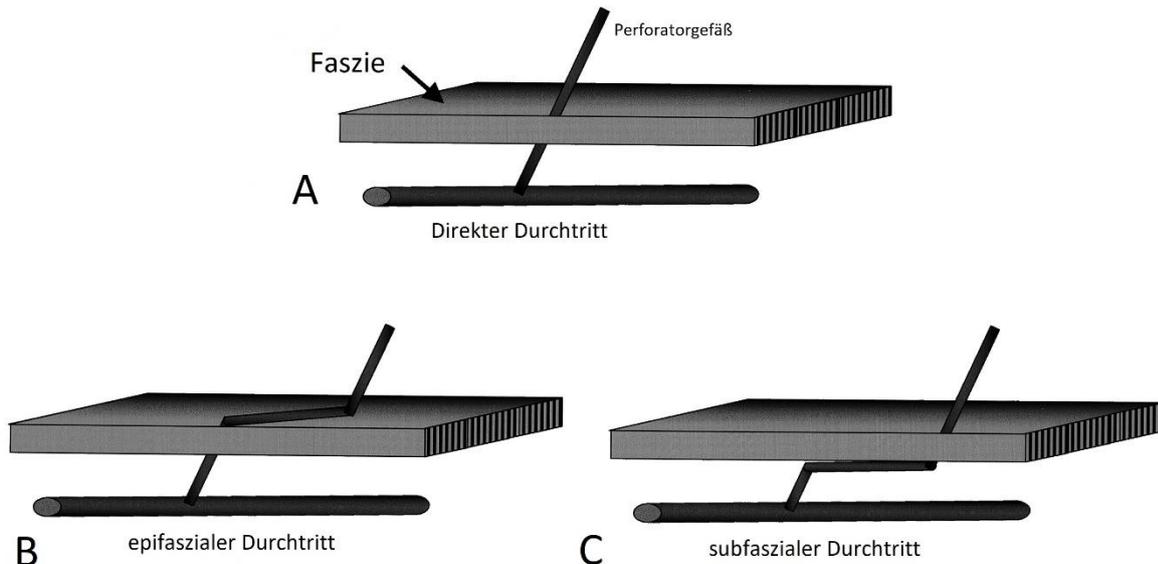


Abbildung 52: Verlaufsformen von Perforatorgefäßen<sup>76</sup>.

Weiterhin ist entsprechend der oben beschriebenen unterschiedlichen Perforationsmuster eine Aufzweigung in zwei oder mehr Gefäßäste möglich.

Bei der thermographischen Bildgebung erfolgt die unmittelbare Visualisierung anhand einer Wärmeabgabe des Blutes aus tieferen Schichten in das umgebende Gewebe. Das bedeutet, dass die perforierenden Gefäße unmittelbar in den oberflächlicheren Hautschichten detektiert werden.

Die akustische Doppler-Sonographie hingegen erfasst bei einem Schallwinkel von ca. 90° die senkrecht zum Schallkopf verlaufenden Perforatorgefäße.

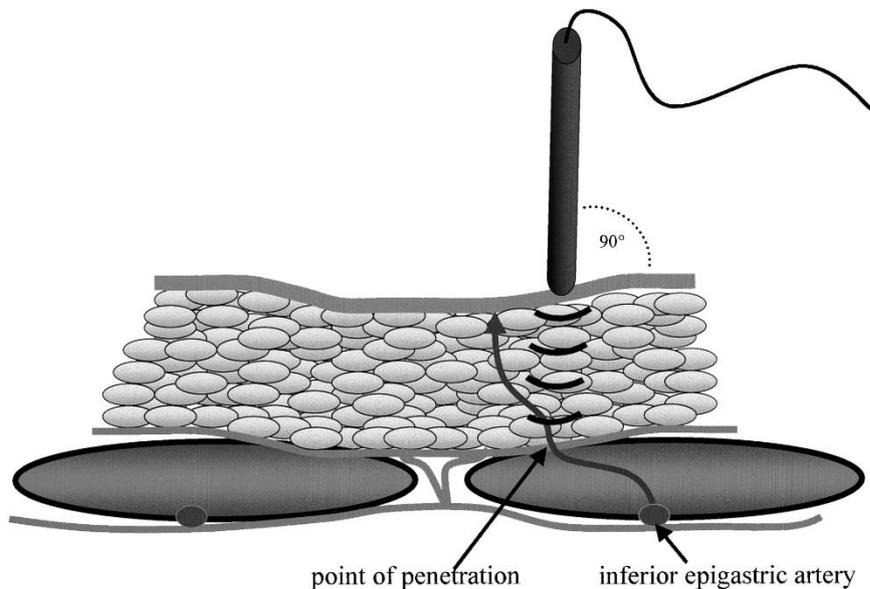


Abbildung 53: Erfassung von Perforatorgefäßen mittel Doppler-Sonographie<sup>76</sup>.

Die Detektion der Perforatorgefäße erfolgt so im Vergleich zur Thermographie in den tieferen Gewebeschichten.

Das hat zu Folge, dass ein thermographisch gemessener Hotspot nicht exakt über einem sonographisch gemessenen Perforator liegen muss<sup>115</sup>. Beide Messpunkte können sich überschneiden oder sogar nur nah beieinander liegen (Abbildung 53). Bei fehlender Überschneidung des thermographischen mit dem sonographischen Messpunkt spricht ein Fehlen eines anderen nahegelegenen sonographischer Messpunkts für die Korrelation beider. Dieser Sachverhalt wurde bei der oben erfolgten Auswertung berücksichtigt, indem nicht ausschließlich sich vollständig überschneidende thermographische und sonographische Punkte, sondern auch sich teilweise überschneidende und nur räumlich korrelierende Punkte berücksichtigt wurden.

Weiterhin besteht aufgrund von Gefäßaufzweigungen<sup>37</sup> in den äußeren Gewebeschichten die Möglichkeit, dass einem sonographisch gemessenen Perforator mehrere thermographische Hotspots zugeordnet werden können.

Liegen zwei sonographisch erfassbare Perforatoren in direkter Nähe zueinander und zweigen sich beide in ein oder mehrere thermographisch erfassbare Perforatoren auf, könnten zwei oder mehr thermographische Hotspots einzeln oder als ein größerer Hotspot dargestellt werden.



Abbildung 54: thermographische Perforatoren (violett) und sonographische Perforatoren (rot).

## 5.4 Durchführung der Thermographie

Die hier gewählte statische Thermographie mittels Handheld-Kamera<sup>96,100,101,103,104</sup> ist für die Identifikation von Hotspots als schnelle und leicht durchzuführende Methode geeignet. Die aufwändigere dynamische Thermographie<sup>97,99,103,105,106</sup> kann ebenfalls mit einer Handheld-Kamera durchgeführt werden und ist ebenfalls zur Identifikation geeignet. Sie wird jedoch überwiegend zur Planung und Entnahme von DIEP-Transplantaten verwendet<sup>97,99,105,106</sup>. Die DIRT erfordert zuerst eine Abkühlung der zu untersuchenden Körperoberfläche, um dann die Wiedererwärmung des Gewebes von einigen Hotspots zu beobachten<sup>99</sup>.

In der hier beschriebenen Untersuchung wurde die statische Thermographie gewählt, da so unkompliziert und zeitnah Hotspots detektiert werden konnten und eine anschließende Dokumentation zur Bildauswertung vorgenommen werden konnte.

Über die Qualität eines Perforators, zum Beispiel im Sinne des Gefäßkalibers, kann mittels Thermographie bislang keine Aussage getätigt werden. Festgestellt wurden unterschiedliche Intensitäten im Vergleich zum Nachbargewebe. Das bedeutet bei hoher Intensität jedoch nicht zwangsläufig, dass der darunter liegende Perforator ein großes Gefäßkaliber aufweist.

Bei der hier beschriebenen thermographischen Bildgebung erfolgt die Erstellung eines Bildes der gesamten Entnahmeregion. So sind potenziell mehrere Perforatoren sofort sichtbar, die bei einer doppler-sonographischen Untersuchung einzeln detektiert werden müssten. Auf diese Weise ist es möglich, ein schnelles Übersichtsbild zu erstellen (Tabelle 2). Auch sind bereits vorhandene Einzeichnungen auf der Haut im thermographischen Bild sichtbar, sodass eine genauere Detektion anhand einer Vorabplanung erfolgen kann.

Die Thermographie kann kontaktlos durchgeführt werden. Das bedeutet, dass bei bereits sterilisiertem und abgedecktem Operationsgebiet eine Untersuchung möglich ist. Die Einzeichnung eines Hotspots ist nicht zwangsläufig notwendig und kann auf Wunsch von einem der sterilen Operateure durchgeführt werden (Tabelle 2).

So ist nur ein geringer Materialaufwand für eine präoperative bzw. intraoperative Untersuchung erforderlich. Hingegen muss bei einer intraoperativen sonographischen Untersuchung das Gerät in eine sterile Folie eingepackt werden. Zusätzlich muss zur Untersuchung Sonographiegel genutzt werden.

Ein weiterer Aspekt ist die exakte Dokumentierbarkeit eines thermographischen Bildes, das ohne großen Aufwand gespeichert und so zur Planung vor und während der Operation herangezogen werden kann. Das ist bei einem rein akustischen Doppler-Sonographiegerät wesentlich komplizierter. Im Falle der hier genutzten Flir-Kamera wird parallel zum thermographischen Bild auch ein normales Foto im Speicher in gängigen Bildformaten abgelegt.

Die Untersuchung mittels eines Sonographiegeräts bzw. eines akustischen Doppler-Sonographiegeräts kann von der Erfahrung und Übung des Untersuchers abhängig sein<sup>116,117</sup>.

Dies ist bei der Thermographie nicht bzw. nur in geringem Ausmaß der Fall. Die Qualität der des thermographischen verwertbaren Bildes hängt von der ausreichenden Akklimatisierung der Haut des Patienten ab<sup>96</sup>, die nur wenige Minuten beträgt. Weiterhin ist eine entspannte Patientenhaltung von nicht unerheblicher Bedeutung. So kann eine angespannte Haltung (siehe Kapitel 5.1) möglicherweise zu einer schlechteren Perfusion der versorgenden Hautgefäße führen und so die Qualität des thermographischen Bildes negativ beeinflussen. Der Abstand der Wärmebildkamera vom Untersuchungsobjekt hat Auswirkungen auf das im Bild dargestellte Temperaturspektrum. So liegen bei geringem Abstand und normaler Hauttemperatur der dargestellte minimale und maximale Wert nah beieinander, sodass auch geringe Temperaturunterschiede farblich gut dargestellt werden können. Folglich ist der Abstand bei Untersuchung so groß zu wählen, um möglichst wenig umliegende Gegenstände o.ä. mitzuerfassen, jedoch auch nicht zu gering, damit die Untersuchungsregion komplett dargestellt werden kann. In den hier durchgeführten Untersuchungen wurde zumeist ein Abstand von 30-50 cm gewählt, da so die zu untersuchende Körperregion das Kamerabild überwiegend ausgefüllt hat und die Temperaturunterschiede zwischen Untersuchungsregion und Umgebung so gering wie möglich waren. Dieser Abstand lag leicht unter dem oft verwendeten Abstand von 50-70 cm<sup>92,96,100,101</sup>.

Die hier verwendete Kamera konnte die untersuchten Körperregionen bei größerem Abstand nicht heranzoomen. Diese Funktion oder eine Begrenzung des Untersuchungsgebiets während der Bildgebung könnten den Abstand zwischen Kamera und Untersuchungsobjekt vergrößern.

## 5.5 Qualitative Auswertung

Im Bereich der Entnahmestellen des ALT konnten in beiden Untersuchungsgruppen mit Abstand die meisten Perforatoren thermographisch detektiert und anschließend sonographisch verifiziert werden ( $\varnothing$  4,9-6,2). Am Oberarm ( $\varnothing$  2,4-2,6) und am Unterschenkel ( $\varnothing$  2,8-3,0) wurden deutlich weniger Perforatoren identifiziert.



Abbildung 55: Präoperative thermographische Darstellung von Perforatorgefäßen.



Abbildung 56: Entnahme eines ALT-Flaps nach thermographischer Perforatordetektion.

Die größte Anzahl an Hotspots wurde am Oberschenkel detektiert. Hier konnten die thermographischen Punkte am besten von dem umliegenden Gewebe unterschieden werden. Aufgrund der guten Sichtbarkeit wurde vor operativer Entnahme eines ALT-Flaps eine thermographische Untersuchung durchgeführt und die Lage der Hotspots in die Planung miteinbezogen. Intraoperativ stellten sich die thermographisch erfassten Hotspots als korrekt erfasst dar. Das Gefäßkaliber entsprach den Anforderungen zur Transplantation, sodass die Perforatoren für die Gefäßanastomosen genutzt werden konnten.

Für die thermographische Untersuchung wurde die statische Methodik gewählt, die sich bereits in vorherigen

Studien<sup>92,96,100,101,104</sup> zur Identifikation von Perforatoren insbesondere in den Entnahmeregionen von ALT und DIEP-Transplantaten bewährt hatte. In der Studie von Pereira et al.<sup>101</sup> wurden thermographische Hotspots mit CT-angiographischen Daten am Oberschenkel verglichen. Pereira et al. kamen zu dem Ergebnis, dass die thermographisch gemessenen Hotspots nahezu 100 % mit den CT-Daten übereinstimmten.

Mit einer durchschnittlichen Anzahl von 6,1 und 6,2 in der Probandengruppe und 4,8 in der Patientengruppe wies die Untersuchungsregion am Oberschenkel die größte Anzahl detektierter Hotspots auf. Die Korrelation zwischen thermographischen und dopplersonographischen Hotspots lag zwischen 79 und 87 %. Die insgesamt größere Anzahl darstellbarer thermographischer Hotspots ( $\bar{\emptyset}$  4,8-6,2) im Vergleich zu dopplersonographischen Punkten ( $\bar{\emptyset}$  4,3-5,4) könnte auf eine erhöhte Sensitivität der thermographischen Detektion hindeuten. Jedoch ist hier auch eine Überempfindlichkeit möglich, da sehr kleine Gefäße einen oberflächlichen Temperaturunterschied im insgesamt etwas „kälteren“ subkutanen Fettgewebe hervorrufen könnten.

Die Identifikation von thermographischen Hotspots am Unterschenkel stellte sich komplizierter als am Oberschenkel dar. In der thermographischen Bildgebung waren Temperaturunterschiede des Versorgungsgebiets eines Perforators deutlich weniger ausgeprägt.

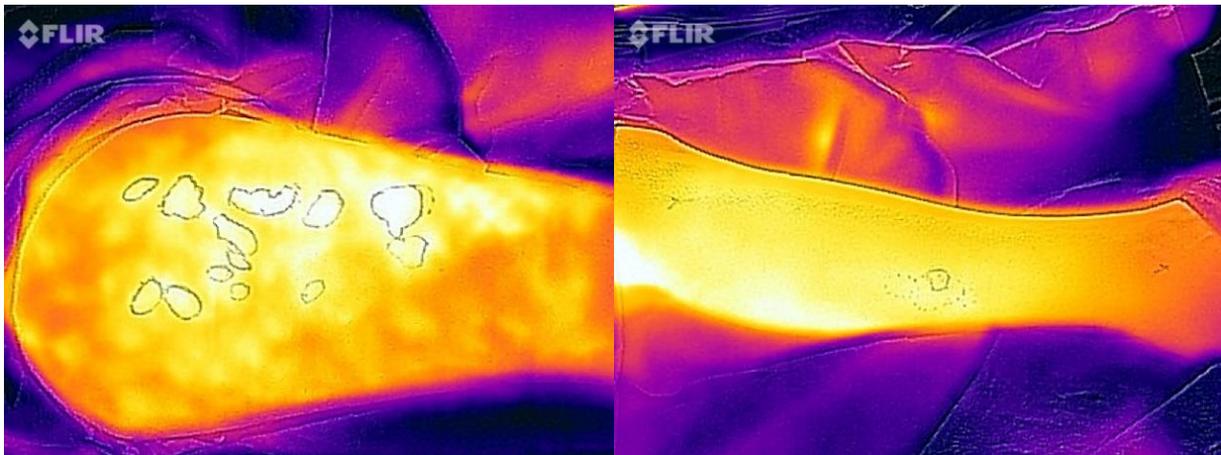


Abbildung 57: Thermographiebild Oberschenkel (links) und Unterschenkel (rechts).

Am Oberschenkel stellten sich Hotspots als deutlich zu unterscheidende und insgesamt kleinere Punkte dar, während am Unterschenkel eher flächenmäßige Aufhellungen sichtbar waren, die sich jedoch in ihrer Intensität weniger stark vom umliegenden Gewebe unterschieden.

Weiterhin lagen einige der thermographischen Punkte am Unterschenkel dorsal der Fibula, andere eher ventral.

Das kann bei der Entnahme eines osteomyokutanen Fibulatransplantats bedeutsam sein. Je nach Lage der thermographischen Hotspots kann so möglicherweise auf einen septokutanen oder myokutanen Perforator geschlossen werden, welche regelmäßig vorkommen<sup>110</sup>.

Während der Untersuchungen erfolgte eine aktive Innenrotation des jeweiligen Unterschenkels bzw. Beins. Das war zumindest bei Patienten der zweiten Gruppe zum Teil nicht unproblematisch, da hier aufgrund des Alters subjektive Bewegungseinschränkungen vorlagen. Das kann Auswirkungen auf die insgesamt etwas schwächer erkennbaren

Perforatoren im dorsalen Septum intermusculare haben, die so in der Thermographie weniger gut detektierbar waren und die Hautperforatoren für die Hautinsel darstellen.

Bei der thermographischen Untersuchung des Unterschenkels lagen einige der detektierten Hotspots weiter cranial als die typische Entnahmeregion ca. 10 cm oberhalb des Sprunggelenks, während keine eindeutigen thermographisch sichtbaren Hotspots in der Entnahmeregion detektiert werden konnten.

Mit einer durchschnittlichen Anzahl von 2,8 bis 3,0 thermographischen Hotspots lag die Anzahl deutlich unter der vom Oberschenkel, wies jedoch eine deutlich höhere Korrelation von nahezu 100 % auf.

Die Darstellung von thermographisch sichtbaren Hotspots am Oberarm ( $\emptyset$  2,4-2,6) ergab im Vergleich zum Oberschenkel ebenfalls eine deutlich geringere Anzahl von Perforatoren bei ebenfalls guter Übereinstimmung zur Sonographie von 83 bis 100 %. Auch hier lagen einige der thermographisch und sonographisch detektierbaren Perforatoren cranial der Entnahmeregion eines Transplantats am distalen Oberarm.

Die thermographische Identifikation von Hotspots ist am ehesten für die Untersuchung und Planung von ALT-Transplantaten geeignet, da hier eine größere Anzahl von Hotspots detektiert werden konnte, die in der gewünschten Entnahmeregion zu finden waren.

## 5.6 Schlussfolgerung

Aus den beschriebenen Ergebnissen lässt sich schlussfolgern, dass mit der Thermographie eine Möglichkeit zur Perforatordetektion besteht. Es wurden Hotspots identifiziert, bei denen in den meisten Fällen (79-100 %) ein Perforator mittels Doppler-Sonographie nachgewiesen werden konnte und die in der Region lagen, die anatomisch gesehen der Entnahmeregion für Transplantate entsprach. Die präoperative Markierung der Transplantatgrenzen wird schon lange mittels doppler-sonographisch detektierter Perforatoren unterstützt<sup>71,118,119</sup>. So wurden bei der präoperativen Detektion mittels Doppler-Sonographie in mindestens 79 % anatomisch nachweisbare Perforatorgefäße in der Entnahmeregion eines ALT-Transplantates nachgewiesen<sup>119</sup>.

Die Darstellung von perforierenden Gefäßen kann sich je nach Körperregion deutlich unterscheiden. So lassen sich am Oberschenkel in der Entnahmeregion eines ALT-Flaps zuverlässig mehrere Hotspots detektieren ( $\emptyset$  4,9 – 6,2), während im Bereich des Unterschenkels ( $\emptyset$  2,8 – 3,0) oder des Oberarms ( $\emptyset$  2,4 – 2,6) deutlich weniger Perforatoren dargestellt werden konnten, die teilweise nicht in der gewünschten Region lagen.

Die Darstellung von Hotspots am Oberschenkel erfolgte zuverlässig und konnte intraoperativ in zwei Fällen als Perforator bestätigt werden.

In dieser Untersuchung wurden sowohl 20 gesunde Probanden als auch 20 Patienten prospektiv untersucht (Tabelle 5 und 6). Die Untersuchung der Probanden erfolgte, um einen möglichen Einfluss von Vorerkrankungen auszuschließen. Das erfolgte bisher in keiner der in Tabelle 1 aufgeführten Studien. Weder die Probanden noch die Mehrzahl der untersuchten Patienten waren für die Transplantation von PBAP, ALT oder PNAP vorgesehen. Ein signifikanter Unterschied der Anzahl detektierbarer Hotspots konnte nicht festgestellt werden. Somit scheint die Thermographie auch für vorerkrankte Patienten eine geeignete Methode zur präoperativen Perforatordarstellung zu sein.

Insgesamt kann die Thermographie als unkompliziert durchführbare Alternative zur Dopplersonographie angesehen werden. Mit einer thermographischen Kamera lassen sich Hotspots darstellen, die bei vorliegender Korrelation auf ein Perforatorgefäß hinweisen. Das entspricht den Ergebnissen der Studien von Pereira et al.<sup>101,104</sup> und Sheena et al.<sup>92</sup>, die mit Teilnehmerzahlen von 20 und 25 durchgeführt wurden.

Die in dieser Arbeit durchgeführte systematische Untersuchung der Entnahmeregionen für PBAP, ALT und PNAP an insgesamt 40 Teilnehmern wurde in keiner vorherigen Studie durchgeführt. Auch wurden bislang nicht rechte mit linken Extremitäten verglichen. Die größte Teilnehmerzahl betrug in vorangegangenen Studien 25. In einer Studie von Pereira et al.<sup>104</sup> wurden insgesamt 25 Patienten mit lokalen Lappenplastiken – Verschiebe-, Rotations- und Inselplastiken – untersucht. Hierbei wurden entsprechend der geplanten Entnahmeregion an den unteren Extremitäten thermographische Hotspots detektiert. Die Studie von Weum et al.<sup>106</sup>

untersuchte an 25 Patienten die DIRT im Vergleich zur CT-Angiographie. Beide Autoren kamen zu hohen Übereinstimmungswerten der thermographischen Hotspots mit anatomisch vorhandenen Perforatoren.

Die detektierte Position eines Hotspots kann aufgrund anatomischer Variationen von der sonographischen leicht abweichen, was jedoch auf die gesamte Orientierung und Planung nur wenig Einfluss hat.

Die Ergebnisse weisen auf eine ähnliche gute Darstellbarkeit wie bei der Doppler-Sonographie hin. Der positive prädiktive Wert für thermographische Perforatoren lag zwischen 0,76 und 0,97, wobei die Darstellung am Oberarm mit 0,76 – 0,89 am wenigsten erfolgreich war. Die höchsten positiv prädiktiven Werte hatte die Entnahmeregion der Fibulatransplantate mit 0,92 – 0,97. Die ALT-Region wies einen Wert von 0,85 – 0,91 auf, wobei hier die durchschnittliche Anzahl der Perforatoren von 4,9 – 6,2 deutlich über der von Fibula (2,8 – 3,0) und Oberarm (2,4 – 2,6) lag.

Je nach Körperregion unterscheidet sich die Qualität und Nutzbarkeit der Darstellung thermographisch detektierten Hotspots. So konnten am Oberschenkel mehrere Hotspots in korrekter Position unproblematisch dargestellt werden, während am Unterschenkel oder Oberarm die Darstellung aufgrund der Position oder Qualität der Darstellung teilweise komplizierter war. Am Unterschenkel lagen die meisten Hotspots zu weit proximal oder dorsal bzw. aufgrund der Liegeposition im Bereich der Kontaktfläche zwischen Wade und Unterlage. Am Oberarm befanden sich einige detektierte Hotspots ebenfalls zu weit proximal und kämen deshalb nicht für ein Oberarmtransplantat in Frage.

Für die Planung von Transplantationen ist es mit einer thermographischen Kamera möglich, mehrere Hotspots gleichzeitig zu detektieren und bei zuvor eingezeichneten Landmarken in eine Planung einzubeziehen. Die flächenhafte Darstellung der Hotspots ähnelt der Angiosom-Theorie<sup>37</sup> und gibt einen Hinweis auf das Versorgungsgebiet eines möglichen Perforators. Das eröffnet die Möglichkeit, insbesondere im Fall des Oberschenkels, das Transplantatdesign an die Ausdehnung anzupassen. Das trifft ebenso für lokale Lappenplastiken zu<sup>104</sup>. Mit der eher punktuellen Perforatoridentifikation mittels akustischer Doppler-Sonographie besteht diese Möglichkeit nicht. Bei der Transplantation von osteomyokutanen Fibulatransplantaten orientiert sich die Lage der Hautinsel zumeist an der Position der Perforatoren im Septum intermusculare posterior<sup>36</sup>, wodurch eine Berücksichtigung bekannter thermographischer Hotspots erschwert wird.

Unter diesen Voraussetzungen stellt die Thermographie eine kostengünstige und unkompliziert durchführbare Möglichkeit der Perforatordarstellung<sup>104,120</sup> insbesondere zur Entnahme von ALT-Flaps dar, da hier die flächenhafte Darstellung am deutlichsten ist und auf diese beim Flapdesign leicht eingegangen werden kann (siehe Tabelle 2). Zu einem ähnlichen

Ergebnis beim Vergleich der Thermographie mit der CT-Angiographie kommen auch Pereira et al.<sup>101</sup>.

Die Anwendung in weiteren Körperregionen wie dem Unterschenkel oder dem Oberarm erfordert weitere Untersuchungen. Für weitere Entnahmeregionen wie z.B. Latissimus dorsi- und DIEP-Transplantate gelten o.g. Ergebnisse ebenfalls nicht. Hier sollten trotz guter Ergebnisse von Weum et al.<sup>106</sup> in der Entnahmeregion von DIEP-Transplantaten weitere Untersuchungen folgen, da hier randomisiert-kontrollierte Studien fehlen<sup>97</sup>.

Möglicherweise lassen sich mit einer Verbesserung der thermographischen Auflösung bzw. Trennschärfe zwischen Hotspots und kälteren peripheren Regionen genauere Ergebnisse erzielen. Ein Ansatz hierfür scheint die DIRT<sup>97,99</sup> zu sein, der durch Abkühlung der Hautoberfläche die Trennschärfe verbessert. Dies ist jedoch mit einem deutlich höheren zeitlichen Aufwand verbunden. Mit einer thermographischen Kamera wird ein einzelnes Bild angefertigt.

Grundsätzlich lassen sich jedoch auch mit den zumeist benutzten thermographischen Handheld-Kameras von FLIR sowohl statische Aufnahmen<sup>92,96,100,101,104</sup> als auch dynamische Aufnahmen<sup>97,103,106</sup> anfertigen und auswerten.

Unter Berücksichtigung der Untersuchungsergebnisse lässt sich schlussfolgern, dass die Anwendung der Thermographie für die Darstellung perforierender Gefäße in Regionen von Transplantatentnahmestellen, insbesondere im Bereich des ALT eine zuverlässige und einfach durchzuführende Methode bietet.

## 6 LITERATURVERZEICHNIS

- 1 Manchot C. Die Hautarterien des menschlichen Körpers. Vogel, 1889.
- 2 Lexer E. Die ideale operation des arteriellen und des arteriovenosen aneurysma. *Arch Klin Chir* 1925; **138**: 251.
- 3 Goyanes J. Nuevos trabajos de chirurgia vascular, substitucion plastica de las arterias por las venas o arterioplastia venosa, applicada, como nuevo metodo, al tratamiento de los aneurismas. *El Siglo Med* 1906; **53**: 546.
- 4 Strobel D, Bernatik T. Diagnostik bei fokalen Leberläsionen: Stellenwert der Kontrastmittelsonographie. *Dtsch Ärztebl* 103 (12): A-789. *Deutsches Ärzteblatt: B-667/C-648* 2006.
- 5 Horch RE. Geschichte der Mikrochirurgie. In: Kneser U, Horch RE, Lehnhardt M, eds. *Grundkurs Mikrochirurgie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016: 3–14.
- 6 Jacobson JH, Wallman LJ, Schumacher GA, Flanagan M, Suarez EL, Peardon Donaghy RM. Microsurgery as an Aid to Middle Cerebral Artery Endarterectomy\*. *Journal of neurosurgery* 1962; **19**: 108–15.
- 7 Kleinert HE, KASDAN ML. RESTORATION OF BLOOD FLOW IN UPPER EXTREMITY INJURIES. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 1963; **3**: 461–76.
- 8 KOMATSU S, TAMAI S. SUCCESSFUL REPLANTATION OF A COMPLETELY CUT-OFF THUMB. *Plastic and reconstructive surgery* 1968; **42**: 374–77.
- 9 Buncke HJ, Buncke CM, Schulz WP. Immediate Nicoladoni procedure in the Rhesus monkey, or hallux-to-hand transplantation, utilising microminiature vascular anastomoses. *British journal of plastic surgery* 1966; **19**: 332–37.
- 10 Buncke HJ, Schulz WP. Total ear reimplantation in the rabbit utilising microminiature vascular anastomoses. *British journal of plastic surgery* 1966; **19**: 15–22.
- 11 Cobbett, JR. Free digital transfer. *Bone & Joint Journal* 1969; **51**: 677–79.
- 12 O'Brien BM, Am MacLeod, Sykes PJ, Donahoe S. Hallux-to-hand transfer. *The Hand* 1975; **7**: 128–33.
- 13 Yu-Dong G, Gao-Meng Z, De-shong C, Ji-geng Y, Xiao-ming C. Free toe transfer for thumb and finger reconstruction in 300 cases. *Plastic and reconstructive surgery* 1993; **91**: 693–700.
- 14 Taylor GI, Daniel RK. The Free Flap. Composite Tissue Transfer by Vascular Anastomosis1. *Australian and New Zealand Journal of Surgery* 1973; **43**: 1–3.
- 15 Daniel RK, Taylor GI. Distant transfer of an island flap by microvascular anastomoses. *Plastic and reconstructive surgery* 1973; **52**: 111–17.
- 16 O'Brien B. Replantation and reconstructive microvascular surgery. Part I. *Annals of the Royal College of Surgeons of England* 1976; **58**: 87.

- 17 O'Brien BM. Replantation and reconstructive microvascular surgery. Part II. *Annals of the Royal College of Surgeons of England* 1976; **58**: 171.
- 18 Saint-Cyr M, Schaverien MV, Rohrich RJ. Perforator flaps. history, controversies, physiology, anatomy, and use in reconstruction. *Plastic and reconstructive surgery* 2009; **123**: 132e-145e.
- 19 Geddes CR, Morris SF, Neligan PC. Perforator flaps. evolution, classification, and applications. *Annals of plastic surgery* 2003; **50**: 90–99.
- 20 Taylor GI, Palmer JH. The vascular territories (angiosomes) of the body: experimental study and clinical applications. *British journal of plastic surgery* 1987; **40**: 113–41.
- 21 MAXWELL GP, STUEBER K, HOOPES JE. A FREE LATISSIMUS DORSI MYOCUTANEOUS FLAP. *Plastic and reconstructive surgery* 1978; **62**: 462–66.
- 22 Godina M. Preferential use of end-to-side arterial anastomoses in free flap transfers. *Plastic and reconstructive surgery* 1979; **64**: 673–82.
- 23 Song Y, Chen G, Song Y. The free thigh flap. a new free flap concept based on the septocutaneous artery. *British journal of plastic surgery* 1984; **37**: 149–59.
- 24 Koshima I, Fujitsu M, Ushio S, Sugiyama N, Yamashita S. Flow-through anterior thigh flaps with a short pedicle for reconstruction of lower leg and foot defects. *Plastic and reconstructive surgery* 2005; **115**: 155–62.
- 25 Koshima I, Fukuda H, Yamamoto H, Moriguchi T, Soeda S, Ohta S. Free anterolateral thigh flaps for reconstruction of head and neck defects. *Plastic and reconstructive surgery* 1993; **92**: 421–28.
- 26 Koshima I, Hosoda M, Moriguchi T, Ishii R, Orita Y, Yamamoto H. Three-Dimensional Combined Flaps for Reconstruction of Complex Facial Defects Following Cancer Ablation. *Journal of reconstructive microsurgery* 1997; **13**: 73–80.
- 27 Koshima I, Kawada S, Etoh H, Kawamura S, Moriguchi T, Sonoh H. Flow-through anterior thigh flaps for one-stage reconstruction of soft-tissue defects and revascularization of ischemic extremities. *Plastic and reconstructive surgery* 1995; **95**: 252–60.
- 28 Taylor GI, MILLER GDH, HAM FJ. The free vascularized bone graft. a clinical extension of microvascular techniques. *Plastic and reconstructive surgery* 1975; **55**: 533–44.
- 29 McCullough DW, Fredrickson JM. Neovascularized rib grafts to reconstruct mandibular defects. *Can J Otolaryngol* 1973; **2**: 100.
- 30 Östrup LT, Fredrickson JM. DISTANT TRANSFER OF A FREE, LIVING BONE GRAFT BY MICROVASCULAR ANASTOMOSES. An Experimental Study. *Plastic and reconstructive surgery* 1974; **54**: 274–85.
- 31 Strauch B, Bloomberg AE, Lewin ML. An experimental approach to mandibular replacement. Island vascular composite rib grafts. *British journal of plastic surgery* 1971; **24**: 334–41.

- 32 Hidalgo DA. Fibula free flap. a new method of mandible reconstruction. *Plastic and reconstructive surgery* 1989; **84**: 71–79.
- 33 Baek S-M. Two new cutaneous free flaps: the medial and lateral thigh flaps. *Plastic and reconstructive surgery* 1983; **71**: 354–65.
- 34 Saint-Cyr M, Wong C, Schaverien M, Mojallal A, Rohrich RJ. The perforasome theory: vascular anatomy and clinical implications. *Plastic and reconstructive surgery* 2009; **124**: 1529–44.
- 35 Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker KH. Lernatlas der Anatomie. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, Germany: Georg Thieme Verlag, Stuttgart, Germany 2007.
- 36 Wolff K-D, Hölzle F. Raising of microvascular flaps: a systematic approach. Springer, 2017.
- 37 Taylor GI. The angiosomes of the body and their supply to perforator flaps. *Clinics in plastic surgery* 2003; **30**: 331–42.
- 38 Taylor GI, Palmer JH. The vascular territories (angiosomes) of the body. experimental study and clinical applications. *British journal of plastic surgery* 1987; **40**: 113–41.
- 39 Song R. The upper arm free flap. *Clin Plast Surg* 1982; **9**: 27–35.
- 40 Katsaros J, Schusterman M, Beppu M, Banis JC, JR, Acland RD. The lateral upper arm flap. Anatomy and clinical applications. *Annals of plastic surgery* 1984; **12**: 489–500.
- 41 Gehrking E, Remmert S, Majocco A. Topographisch-anatomische Studie des lateralen Oberarmtransplantats. *Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger* 1998; **180**: 275–80.
- 42 Sullivan MJ, Carroll WR, Kuriloff DB. Lateral arm free flap in head and neck reconstruction. *Archives of Otolaryngology–Head & Neck Surgery* 1992; **118**: 1095–101.
- 43 Remmert S. Mikrovaskuläre Anastomosen in der rekonstruktiven Kopf-und Halschirurgie. *Laryngo-Rhino-Otologie* 1995; **74**: 233–37.
- 44 Felici N, Felici A. A new phalloplasty technique. The free anterolateral thigh flap phalloplasty. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery* 2006; **59**: 153–57.
- 45 Gedebois TM, Wei F-C, Lin C-H. Clinical experience of 1284 free anterolateral thigh flaps. *Handchirurgie· Mikrochirurgie· Plastische Chirurgie* 2002; **34**: 239–44.
- 46 Langer PSD, Steinsträßer L, Lehnhardt M, et al. Der freie ALT-Oberschenkelappen in der traumatischen und onkologischen Defektdeckung. *Der Unfallchirurg* 2008; **111**: 323–30.
- 47 Lewin JS, Barringer DA, May AH, et al. Functional outcomes after laryngopharyngectomy with anterolateral thigh flap reconstruction. *Head & neck* 2006; **28**: 142–49.
- 48 Wei F-C, Celik N, Jeng S-F. Application of “simplified nomenclature for compound flaps” to the anterolateral thigh flap. *Plastic and reconstructive surgery* 2005; **115**: 1051–55.
- 49 Xu D-C, Zhong SZ, Kong JM, et al. Applied anatomy of the anterolateral femoral flap. *Plastic and reconstructive surgery* 1988; **82**: 305–10.

- 50 Begue T, Masquelet AC, Nordin JY. Anatomical basis of the anterolateral thigh flap (25.05. 1990). *Surgical and Radiologic Anatomy* 1990; **12**: 311–13.
- 51 Koshima I, Fukuda H, Utunomiya R, Soeda S. The anterolateral thigh flap; variations in its vascular pedicle. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery* 1989; **42**: 260–62.
- 52 Williams GD, Martin CH, McIntire LR. Origin of the deep and circumflex femoral group of arteries. *The Anatomical Record* 1934; **60**: 189–96.
- 53 Deek NFA, Kao H-K, Wei F-C. The fibula osteoseptocutaneous flap: concise review, goal-oriented surgical technique, and tips and tricks. *Plastic and reconstructive surgery* 2018; **142**: 913e-923e.
- 54 Manktelow RT. Fibula. In: *Microvascular Reconstruction*. Springer, 1986: 62–67.
- 55 McKee NH, Haw P, Vettese T. Anatomic study of the nutrient foramen in the shaft of the fibula. *Clinical orthopaedics and related research* 1984: 141–44.
- 56 Chang DW, Oh H, Robb GL, Miller MJ. Management of advanced mandibular osteoradionecrosis with free flap reconstruction. *Head & neck* 2001; **23**: 830–35.
- 57 Hong JP, Shin HW, Kim JJ, Wei F-C, Chung YK. The use of anterolateral thigh perforator flaps in chronic osteomyelitis of the lower extremity. *Plastic and reconstructive surgery* 2005; **115**: 142–47.
- 58 May Jr JW, Gallico III GG, Lukash FN. Microvascular transfer of free tissue for closure of bone wounds of the distal lower extremity. *New England Journal of Medicine* 1982; **306**: 253–57.
- 59 Verhelle N, Vranckx J, van den Hof B, Heymans O. Bone exposure in the leg. Is a free muscle flap mandatory? *Plastic and reconstructive surgery* 2005; **116**: 170–77.
- 60 Tonna JE, Lewin MR, Mensh B. A case and review of noma. *PLoS neglected tropical diseases* 2010; **4**: e869.
- 61 Lorenzi F de, van der Hulst R, Boeckx W. Free flaps in burn reconstruction. *Burns* 2001; **27**: 603–12.
- 62 Parrett BM, Pomahac B, Orgill DP, Pribaz JJ. The role of free-tissue transfer for head and neck burn reconstruction. *Plastic and reconstructive surgery* 2007; **120**: 1871–78.
- 63 Ferri J, Caprioli F, Peuvrel G, Langlois J-M. Use of the fibula free flap in maxillary reconstruction. A report of 3 cases. *Journal of oral and maxillofacial surgery* 2002; **60**: 567–74.
- 64 Cordeiro PG, Disa JJ, Hidalgo DA, Hu QY. Reconstruction of the mandible with osseous free flaps. A 10-year experience with 150 consecutive patients. *Plastic and reconstructive surgery* 1999; **104**: 1314–20.
- 65 Hidalgo DA, Pusic AL. Free-flap mandibular reconstruction. A 10-year follow-up study. *Plastic and reconstructive surgery* 2002; **110**: 438–49.

- 66 Vaughan ED. The radial forearm free flap in orofacial reconstruction. Personal experience in 120 consecutive cases. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* 1990; **18**: 2–7.
- 67 Flap D. Free Flap Breast Reconstruction. *Journal of the Louisiana State Medical Society* 1997; **10**: 149.
- 68 El-Kehdy J, Abbas O, Rubeiz N. A review of Parry-Romberg syndrome. *Journal of the American Academy of Dermatology* 2012; **67**: 769–84.
- 69 Lin C-T, Huang J-S, Yang K-C, Hsu K-C, Chen J-S, Chen L-W. Reliability of anatomical landmarks for skin perforators of the thoracodorsal artery perforator flap. *Plastic and reconstructive surgery* 2006; **118**: 1376–86.
- 70 Nojima K, Brown SA, Acikel C, et al. Defining vascular supply and territory of thinned perforator flaps. Part I. Anterolateral thigh perforator flap. *Plastic and reconstructive surgery* 2005; **116**: 182–93.
- 71 Taylor GI, Doyle M, McCarten G. The Doppler probe for planning flaps. Anatomical study and clinical applications. *British journal of plastic surgery* 1990; **43**: 1–16.
- 72 Allen RJ, Tucker Jr C. Superior gluteal artery perforator free flap for breast reconstruction. *Plastic and reconstructive surgery* 1995; **95**: 1207–12.
- 73 Blondeel PN, Beyens G, Verhaeghe R, et al. Doppler flowmetry in the planning of perforator flaps. *British journal of plastic surgery* 1998; **51**: 202–09. [https://doi.org/10.1016/S0007-1226\(98\)80010-6](https://doi.org/10.1016/S0007-1226(98)80010-6).
- 74 Feller A-M, Galla TJ. The deep inferior epigastric artery perforator flap. *Clinics in plastic surgery* 1998; **25**: 197–206.
- 75 Stekelenburg CM, Sonneveld PM, Bouman M-B, et al. The hand held Doppler device for the detection of perforators in reconstructive surgery. What you hear is not always what you get. *Burns* 2014; **40**: 1702–06.
- 76 Giunta RE, Geisweid A, Am Feller. The value of preoperative Doppler sonography for planning free perforator flaps. *Plastic and reconstructive surgery* 2000; **105**: 2381–86.
- 77 Mun G-H, Jeon B-J. An efficient method to increase specificity of acoustic Doppler sonography for planning a perforator flap. perforator compression test. *Plastic and reconstructive surgery* 2006; **118**: 296–97.
- 78 Yu P, Youssef A. Efficacy of the handheld Doppler in preoperative identification of the cutaneous perforators in the anterolateral thigh flap. *Plastic and reconstructive surgery* 2006; **118**: 928–33.
- 79 Tsukino A, Kurachi K, Inamiya T, Tanigaki T. Preoperative color Doppler assessment in planning of anterolateral thigh flaps. *Plastic and reconstructive surgery* 2004; **113**: 241–46.
- 80 Iida H, Ohashi I, Kishimoto S, Umeda T, Hata Y. Preoperative assessment of anterolateral thigh flap cutaneous perforators by colour Doppler flowmetry. *British journal of plastic surgery* 2003; **56**: 21–25.

- 81 Goldberg BB, Liu JB, Burns PN, Merton DA, Forsberg F. Galactose-based intravenous sonographic contrast agent: experimental studies. *Journal of ultrasound in medicine* 1993; **12**: 463–70.
- 82 Bosio M. Cystosonography with echocontrast: a new imaging modality to detect vesicoureteric reflux in children. *Pediatric radiology* 1998; **28**: 250–55.
- 83 Darge K, Bruchelt W, Roessling G, Troeger J. Interaction of normal saline solution with ultrasound contrast medium: significant implication for sonographic diagnosis of vesicoureteral reflux. *European radiology* 2003; **13**: 213–18.
- 84 Henrich W, Meckies J, Friedmann W. Demonstration of a recto-vaginal fistula with the ultrasound contrast medium Echovist. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology* 2000; **15**: 148–49.
- 85 Jakobsen JÅ, Oyen R, Thomsen HS, Morcos SK, Members of Contrast Media Safety Committee of European Society of Urogenital Radiology (ESUR). Safety of ultrasound contrast agents. *European radiology* 2005; **15**: 941–45.
- 86 Gioux S, Degrand A, Lee D, et al. Improved optical sub-systems for intraoperative near-infrared fluorescence imaging. SPIE: SPIE 2005; **6009**.
- 87 Matsui A, Lee BT, Winer JH, Vooght CS, Laurence RG, Frangioni JV. Real-time intraoperative near-infrared fluorescence angiography for perforator identification and flap design. *Plastic and reconstructive surgery* 2009; **123**: 125e-127e.
- 88 Shen Y, Yang T, Yang J, Meng W, Wang Z. Intraoperative indocyanine green fluorescence angiography to prevent anastomotic leak after low anterior resection for rectal cancer: a meta-analysis. *ANZ journal of surgery* 2020; **90**: 2193–200.
- 89 Rother U, Lang W, Horch RE, Ludolph I, Meyer A, Regus S. Microcirculation evaluated by intraoperative fluorescence angiography after tibial bypass surgery. *Annals of vascular surgery* 2017; **40**: 190–97.
- 90 Imai R, Matsumura H, Tanaka K, Uchida R, Watanabe K. Comparison of Doppler sonography and multidetector-row computed tomography in the imaging findings of the deep inferior epigastric perforator artery. *Annals of plastic surgery* 2008; **61**: 94–98.
- 91 Miller ME, Moriarty JM, Blackwell KE, Finn JP, Yiee JH, Nabili V. Preoperative magnetic resonance angiography detection of septocutaneous perforators in fibula free flap transfer. *Archives of facial plastic surgery* 2011; **13**: 36–40.
- 92 Sheena Y, Jennison T, Hardwicke JT, Titley OG. Detection of perforators using thermal imaging. *Plastic and reconstructive surgery* 2013; **132**: 1603–10.
- 93 Blackwell CW, Farrell C. Cancer of the breast. Mammography and thermography. *Major Probl Clin Surg* 1979; **5**: 113–56.
- 94 Kennedy DA, Lee T, Seely D. A Comparative Review of Thermography as a Breast Cancer Screening Technique. *Integrative Cancer Therapies* 2009; **8**: 9–16.

- 95 Itoh Y, Arai K. Use of recovery-enhanced thermography to localize cutaneous perforators. *Annals of plastic surgery* 1995; **34**: 507–11.
- 96 Hardwicke JT, Osmani O, Skillman JM. Detection of perforators using smartphone thermal imaging. *Plastic and reconstructive surgery* 2016; **137**: 39–41.
- 97 Thiessen FEF, Tondu T, Cloostermans B, et al. Dynamic InfraRed Thermography (DIRT) in DIEP-flap breast reconstruction: A review of the literature. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology* 2019; **242**: 47–55.
- 98 Niumsawatt V, Rozen WM, Whitaker IS. 10 Digital Thermographic Photography for Preoperative Perforator Mapping. *Imaging for Plastic Surgery* 2014: 129.
- 99 Weerd L de, Weum S, Mercer JB. The value of dynamic infrared thermography (DIRT) in perforator selection and planning of free DIEP flaps. *Annals of plastic surgery* 2009; **63**: 274–79.
- 100 Patel SS, Homsy C, Atamian EK, Chaffin AE. Thermal imaging facilitates design of a keystone perforator island flap for a myxofibrosarcoma resection reconstruction: case report. *Plastic and Reconstructive Surgery Global Open* 2019; **7**.
- 101 Pereira N, Valenzuela D, Mangelsdorff G, Kufeke M, Roa R. Detection of perforators for free flap planning using smartphone thermal imaging: a concordance study with computed tomographic angiography in 120 perforators. *Plastic and reconstructive surgery* 2018; **141**: 787–92.
- 102 Weerd L de, Mercer JB, Weum S. Dynamic infrared thermography. *Clinics in plastic surgery* 2011; **38**: 277–92.
- 103 Hallock GG. Smartphone Thermal Imaging Can Enable the Safer Use of Propeller Flaps. *Semin Plast Surg* 2020; **34**: 161–64.
- 104 Pereira N, Hallock GG. Smartphone thermography for lower extremity local flap perforator mapping. *Journal of reconstructive microsurgery* 2021; **37**: 59–66.
- 105 Miland ÅO, Weerd L de, Weum S, Mercer JB. Visualising skin perfusion in isolated human abdominal skin flaps using dynamic infrared thermography and indocyanine green fluorescence video angiography. *European Journal of Plastic Surgery* 2008; **31**: 235–42.
- 106 Weum S, Mercer JB, Weerd L de. Evaluation of dynamic infrared thermography as an alternative to CT angiography for perforator mapping in breast reconstruction: a clinical study. *BMC Medical Imaging* 2016; **16**: 43.
- 107 Wolfe WL, Zissis GJ. The infrared handbook. *Arlington: Office of Naval Research, Department of the Navy, 1978, edited by Wolfe, William L.; Zissis, George J. 1978.*
- 108 Thome JCM. Das mikrovaskuläre Fibulatransplantat in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. eine Literaturübersicht, 2008.
- 109 Harrison DH. The osteocutaneous free fibular graft. *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 1986; **68**: 804–07.

- 110 Schusterman MA, Reece GP, Miller MJ, Harris S. The osteocutaneous free fibula flap: is the skin paddle reliable? *Plastic and reconstructive surgery* 1992; **90**: 787-93; discussion 794.
- 111 Wolff K-D, Stellmach R. The osteoseptocutaneous or purely septocutaneous peroneal flap with a supramalleolar skin paddle. *International journal of oral and maxillofacial surgery* 1995; **24**: 38–43.
- 112 Cormack GC, Lamberty BG. Fasciocutaneous vessels in the upper arm: application to the design of new fasciocutaneous flaps. *Plastic and reconstructive surgery* 1984; **74**: 244–50.
- 113 Park MC. An anatomic study of the radial collateral branch of deep brachial artery. *Plastic and reconstructive surgery* 1986; **78**: 273–74.
- 114 Wolff KD, Grundmann A. The free vastus lateralis flap: an anatomic study with case reports. *Plastic and reconstructive surgery* 1992; **89**: 469-75; discussion 476.
- 115 Mao M, Xia B, Chen W, et al. The safety and effectiveness of intravenous contrast-enhanced sonography in Chinese children—a single center and prospective study in China. *Frontiers in pharmacology* 2019; **10**: 1447.
- 116 Dorfman D, Pu LLQ. The value of color duplex imaging for planning and performing a free anterolateral thigh perforator flap. *Annals of plastic surgery* 2014; **72**: S6-S8.
- 117 Tashiro K, Harima M, Kato M, et al. Preoperative color Doppler ultrasound assessment in planning of SCIP flaps. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery* 2015; **68**: 979–83.
- 118 Hallock GG. Doppler sonography and color duplex imaging for planning a perforator flap. *Clinics in plastic surgery* 2003; **30**: 347–57.
- 119 Shaw RJ, Batstone MD, Blackburn TK, Brown JS. Preoperative Doppler assessment of perforator anatomy in the anterolateral thigh flap. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 2010; **48**: 419–22.
- 120 Xiao W, Li K, Ng SK-H, et al. A prospective comparative study of color doppler ultrasound and infrared thermography in the detection of perforators for anterolateral thigh flaps. *Annals of plastic surgery* 2020; **84**: S190-S195.

## 7. ANHANG

### 7.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Haut- und Perforatorgefäße des Oberschenkels <sup>1</sup> .....	8
Abbildung 2: Durchtritt der Abgänge der Aa. gluteae sup. + inf. durch die Muskulatur (modifiziert nach <sup>35</sup> ). .....	10
Abbildung 3: Durchtritt der perforierenden Gefäße durch die Muskulatur (modifiziert nach <sup>20</sup> ). .....	11
Abbildung 4: Verlauf der Gefäße unterhalb der Faszie (hier Aponeurose), (modifiziert nach <sup>35</sup> ). .....	11
Abbildung 5: Verlauf der versorgenden Gefäße unterhalb der Faszie und Durchtritt der einzelnen Perforatoren (modifiziert nach <sup>20</sup> ).....	12
Abbildung 6: Durchtritt eines septomyocutanen Perforators am Oberschenkel <sup>36</sup> . .....	12
Abbildung 7: Durchtritt der versorgenden Gefäße durch die Faszie und anschließende Verzweigung (modifiziert nach <sup>20</sup> ). .....	12
Abbildung 8: Schematische Darstellung eines Angiosoms (links) und mehrerer Angiosome (rechts) <sup>37</sup> . .....	13
Abbildung 9: arterielle Versorgung des Oberarms <sup>35</sup> .....	14
Abbildung 10: arterielle Versorgung des Oberschenkels <sup>35</sup> .....	15
Abbildung 11: ALT-Entnahmeregion modifiziert nach Schünke et. al. <sup>35</sup> . .....	16
Abbildung 12: arterielle Versorgung des Unterschenkels <sup>35</sup> . .....	17
Abbildung 13: Periorale und orale Gewebeerstörung durch Noma <sup>56</sup> . .....	18
Abbildung 14: Ameloblastom des rechten Unterkiefers.....	19
Abbildung 15: Z.n. Rekonstruktion des Unterkiefers mit einem osteomyocutanen Fibulatransplantat.....	19
Abbildung 16: Entnahmeregion Oberarm-Flap <sup>36</sup> . .....	21
Abbildung 17: Entnahmeregion eines osteomyokutanen Fibula-Flaps mit Hautinsel <sup>36</sup> . .....	21
Abbildung 18: Bi-direktionales Dopplergerät MD2 von Huntleigh.....	22
Abbildung 19: Farbduplexsonographie des Oberschenkels im Bereich der ALT-Entnahmestelle mit Darstellung eines Perforatorgefäßes. VL=Vastus lateralis, RF=Musculus rectus femoris, VI=Vastus intermedius. Modifiziert nach <sup>80</sup> . .....	24
Abbildung 20: Lebermetastase mit im Verlauf zunehmender Hypoechogenität nach intravenöser Gabe eines Ultraschall-Kontrastmittels <sup>4</sup> . .....	26
Abbildung 21: FlirOne-Kamera-Modul Generation 2 der Firma Flir. ....	30
Abbildung 22: Thermographisches Bild eines linken Oberschenkels. ....	30
Abbildung 23: Markierung von Perforatorgefäßen mit Hilfe der FlirOne Gen2. ....	37
Abbildung 24: Überprüfung des thermographisch identifizierten Perforators mittels Handheld-Doppler. ....	38

Abbildung 25: Thermographiebild eines rechten Oberschenkels. ....	41
Abbildung 26: rechter Oberschenkel mit eingezeichneten thermographischen Hotspots (schwarz) und sonographischen Punkten (rot).....	41
Abbildung 27: Thermographiebild eines linken Oberschenkels.....	43
Abbildung 28: linker Oberschenkel mit eingezeichneten thermographischen Hotspots (schwarz) und sonographischen Punkten (rot).....	43
Abbildung 29: Thermographiebild eines rechten Unterschenkels. ....	45
Abbildung 30: rechter Unterschenkel mit eingezeichneten thermographischen Hotspots (schwarz) und sonographischen Punkten (rot).....	45
Abbildung 31: Thermographiebild eines linken Unterschenkels. ....	47
Abbildung 32: linker Unterschenkel mit eingezeichneten thermographischen Hotspots (schwarz) und sonographischen Punkten (rot).....	47
Abbildung 33: Thermographiebild eines rechten Oberarms. ....	49
Abbildung 34: rechter Oberarm mit eingezeichneten thermographischen Hotspots (schwarz) und sonographischen Punkten (rot).....	49
Abbildung 35: Thermographiebild eines linken Oberarms.....	51
Abbildung 36: linker Oberarm mit eingezeichneten thermographischen Hotspots (schwarz) und sonographischen Punkten (rot).....	51
Abbildung 37: Anzahl der gemessenen thermographischen Hotspots und sonographischen Perforatoren. ....	52
Abbildung 38: Anzahl thermographischer Hotspot und doppler-sonographischer Perforatoren. Aufteilung der Perforatoren nach Lage zum thermographischen Hotspot. ....	53
Abbildung 39: Thermographiebild eines rechten Oberschenkels (Patientengruppe). ....	56
Abbildung 40: rechter Oberschenkel mit eingezeichneten thermographischen Hotspots (Kreise) und sonographischen Punkten (Kreuze). ....	56
Abbildung 41: Thermographiebild eines rechten Unterschenkels (Patientengruppe). ....	58
Abbildung 42: rechter Unterschenkel mit eingezeichneten thermographischen Hotspots (Kreise) und sonographischen Punkten (Kreuze). ....	58
Abbildung 43: Thermographiebild eines linken Oberarms (Patientengruppe). ....	60
Abbildung 44: linker Oberarm mit eingezeichneten thermographischen Hotspots (Kreise) und sonographischen Punkten (Kreuze).....	60
Abbildung 45: Anzahl der gemessenen thermographischen Hotspots und sonographischen Perforatoren. ....	61
Abbildung 46: Anzahl thermographischer Hotspot und doppler-sonographischer Perforatoren. Aufteilung der Perforatoren nach Lage zum thermographischen Hotspot. ....	61
Abbildung 47: Darstellung der thermographischen Hotspots am Oberschenkel (links) und der anschließenden Darstellung mittels Doppler (rechts, rot).....	64

Abbildung 48: Präoperative Thermographie und anschließender intraoperativer Nachweis der Perforatoren. ....	64
Abbildung 49: Thermographische Darstellung von Hotspots am Unterschenkel, mit fehlender Abgrenzbarkeit zu ebenfalls erwärmten dorsalen Hautarealen. ....	65
Abbildung 50: Darstellung der thermographischen Hotspots am Unterschenkel (links) und der anschließenden Darstellung mittels Doppler (rechts, rot).....	66
Abbildung 51: Darstellung der thermographischen Hotspots am Oberarm (links) und der anschließenden Darstellung mittels Doppler (rechts, rot).....	67
Abbildung 52: Verlaufsformen von Perforatorgefäßen <sup>76</sup> .....	69
Abbildung 53: Erfassung von Perforatorgefäßen mittel Doppler-Sonographie <sup>76</sup> .....	70
Abbildung 54: thermographische Perforatoren (violett) und sonographische Perforatoren (rot). ....	71
Abbildung 55: Präoperative thermographische Darstellung von Perforatorgefäßen. ....	74
Abbildung 56: Entnahme eines ALT-Flaps nach thermographischer Perforatordetektion.....	74
Abbildung 57:Thermographiebild Oberschenkel (links) und Unterschenkel (rechts). ....	75

## 7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswahl thermographischer Studien.....	32
Tabelle 2: Vor- und Nachteile der Methoden zur Perforatoridentifikation <sup>85,88,89,115</sup> .....	33
Tabelle 3: Zusammenfassung der Ergebnisse mit der Gesamtzahl und dem Durchschnitt gemessener thermographischer Hotspots und doppler-sonographischer Punkte, sowie der prozentualen Korrelation von thermographischen und doppler-sonographischen Punkte unter Angabe des positiven prädiktiven Wertes. ....	62
Tabelle 4: Zusammenfassung der Ergebnisse mit Signifikanz der Korrelation ( $p < 0,05$ ). Die Lage mit Korrelation zeigt die Korrelation von thermographischen und doppler-sonographischen Punkten, wobei die Lage des Sonographiepunktes zu 100%, >50%, <50% oder außerhalb des thermographischen Punktes lag, jedoch eine Zuordnung möglich war. p zeigt die Signifikanz der Korrelation an.....	62
Tabelle 5: Anzahl der thermografisch detektierten Perforatoren in der Probandengruppe. ...	63
Tabelle 6: Anzahl der thermografisch detektierten Perforatoren in der Probanden- und Patientengruppe.....	68

## 7.3 Ethikvotum

09/02/2017 11:39 Ethikkommission Bad Oeynhausen

(FAX)+49 5731 97 2876

P.001/003



UKRUB UNIVERSITÄTSKLINIKUM DER  
RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

Ethikkommission  
der Medizinischen Fakultät  
der Ruhr-Universität Bochum  
Sitz Bad Oeynhausen

Vorsitzender  
Prof. Dr. med. Wolfgang Burchert

Postfach 10 03 61  
32603 Bad Oeynhausen

Georgstr. 11  
32545 Bad Oeynhausen

Phone: + 49 - (0) 57 31 - 97 28 77  
Fax: + 49 - (0) 57 31 - 97 28 76

E-Mail: [ethikkommission@hdz-nrw.de](mailto:ethikkommission@hdz-nrw.de)  
Web: [www.hdz-nrw.de](http://www.hdz-nrw.de)

Herz- und Diabeteszentrum NRW · Georgstr. 11 · 32545 Bad Oeynhausen  
[www.hdz-nrw.de](http://www.hdz-nrw.de)

Herrn  
**PD Dr. med.dent. Dr. med. Martin Scheer**  
Klinik für Mund-, Kiefer- und Plastische  
Gesichtschirurgie  
Johannes Wesling Klinikum Minden  
Hans-Nolte-Str. 1

32429 Minden

Datum: 09. Februar 2017  
Bearbeitet von: Carola Thamar  
Unser AZ: 2017-150

**Bewertung einer klinischen Studie gemäß § 16 der Berufsordnung der Ärztekammer  
Westfalen-Lippe vom 28.11.2016**

**PD Dr. med.dent. Dr. med. Martin Scheer**

***Prospektive Untersuchung thermographischer Identifizierung von Hautperforator im  
Vergleich zur Dopplersonographie***

**Eingang der Unterlagen am 04.01.2017, 02.02.2017 und 08.02.2017**

Sehr geehrter Herr Scheer,

die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Ruhr-Universität Bochum – Sitz Bad Oeynhausen – hat in ihrer Sitzung am 23.01.2017 über die Durchführung der oben genannten Studie beraten. Die zusätzlich geforderten Modifikationen / Informationen sind am 02.02.2017 und 08.02.2017 eingegangen.

Die Untersuchung wurde vom Leiter der Studie persönlich erläutert und von der Kommission mit den zu erwartenden wissenschaftlichen Ergebnissen abgewogen.

Es bestehen hinsichtlich der Ziele und der Durchführung der Studie keinerlei ethische Bedenken seitens der Kommission.

**Die Ethikkommission stimmt damit dem beantragten Forschungsvorhaben zu.**

Die Ethikkommission ist gem. § 17 Abs. 7 MPG im Bundesregister für Arzneimittel und Medizinprodukte registriert (Z14.08-A-1871-80506/08).
Krankenhausärztergesellschaft Bad Oeynhausen mbH HRB 1004 Amtsgericht Bad Oeynhausen Geschäftsführer: Dr. Karin Overlack Stellv. Geschäftsführer: Dipl.-Kfm. (FH) Thomas Feinker Vorsitzende des Aufsichtsrates: Staatssekretärin Martina Hoffmann-Badache
BANK für Sozialwirtschaft IBAN: DE14 3702 0500 0007 2322 00, BIC: BFSWDE33XXX Stadtsparkasse Bad Oeynhausen IBAN: DE78 4905 1285 0000 1344 45, BIC: WELADED10EH Volksbank Bad Oeynhausen-Herford eG IBAN: DE25 4949 0070 0322 1001 00, BIC: GENODEM1HPV

Seite 2 Bescheid an: PD Dr. med.dent Dr. med. Martin Scheer  
Unser AZ: 2017-160

09.02.2017

**Hinweis zur Probandeninformation:**

Bei den Kontaktangaben zu Herrn Paßmann ist eine falsche Telefon-Vorwahl angegeben. Dies sollte noch korrigiert werden.

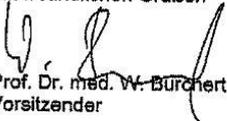
**Hinweis zur Kamera „FLIRONE“:**

Wir weisen darauf hin, dass es sich bei dieser Kamera nicht um ein im Sinne des Medizinproduktegesetzes CE-zertifiziertes Medizinprodukt handelt. Die durch das vorliegende Forschungsprojekt erhobenen Daten dürfen daher nicht zur Therapieentscheidung herangezogen werden. Weiterhin dürfen diese Daten nicht für eine spätere Erweiterung der Zweckbestimmung der Kamera als Medizinprodukt verwendet werden. In einem solchem Fall wäre eine klinische Prüfung nach dem Medizinproduktegesetz entsprechend zu beantragen.

Hinweis: Die ethische und wissenschaftliche Verantwortung verbleibt beim Leiter der Studie. Bei der Studiendurchführung sind die in Deutschland gültigen Regel- und Gesetzeswerke zu beachten.

Aufgrund eines Beschlusses der Ethikkommission möchte ich Sie bitten, die Publikation der Studienergebnisse der Ethikkommission zur Information vorzulegen.

Mit freundlichen Grüßen



Prof. Dr. med. W. Burchert  
Vorsitzender

Eingereichte Unterlagen

04.01.2017

- Antrag an die Ethikkommission vom 02.01.2017
- Patienteninformation und Einwilligungserklärung
- Approbationsurkunde Martin Jürgen Scheer vom 31.08.1998
- Approbationsurkunde Benedikt Paßmann vom 26.11.2013

02.02.2017 und 08.02.2017:

- Antrag an die Ethikkommission (überarbeitete Version) vom 02.02.2017
- Patienteninformation und Einwilligungserklärung, Version 3 vom 08.02.2017
- Probandeninformation und Einwilligungserklärung, Version 2 vom 08.02.2017

**Bewertung einer klinischen Studie gemäß § 15 der Berufsordnung der Ärztekammer Westfalen-Lippe vom 28.11.2015**

**PD Dr. med.dent. Dr. med. Martin Scheer**

***Prospektive Untersuchung thermographischer Identifizierung von Hautperforator im Vergleich zur Dopplersonographie***

**Eingang der Unterlagen am 04.01.2017, 02.02.2017 und 08.02.2017**

**Mitglieder der Ethikkommission, die über die oben genannte Studie entschieden haben:**

Dr. med. Dr. rer.nat. Ingvild Birschmann  
Oberärztin am Institut für Laboratoriums- und Transfusionsmedizin  
Herz- und Diabeteszentrum NRW, Bad Oeynhausen

Prof. Dr. med. Ulrich Gleichmann  
Arzt für Innere Medizin / Kardiologie  
Professor em. Ruhr-Universität Bochum

Prof. Dr. med. Deniz Kececioglu  
Direktor der Klinik für Kinderkardiologie und angeborene Herzfehler  
Herz- und Diabeteszentrum NRW, Bad Oeynhausen

Anke Möller  
Leitende Apothekerin  
Herz- und Diabeteszentrum NRW, Bad Oeynhausen

Prof. Dr. med. Rüdiger Petzoldt  
Patientenvertreter  
Professor em. Ruhr-Universität Bochum

Uwe Schaper  
Direktor des Amtsgerichts a.D.

Dr. Christof Windhorst  
Superintendent i.R.

Prof. Dr. med. Elke Zimmermann  
Fakultät für Psychologie und Sportmedizin  
Universität Bielefeld