

Aus der Kinderchirurgie
der Medizinischen Fakultät Mannheim
(Direktor: Prof. Dr. med. Boettcher)

Die Lasertherapie bei symptomatischen Narben: eine neue
Therapiemethode der Narbenbehandlung bei Kindern

Inauguraldissertation
zur Erlangung des medizinischen Doktorgrades
der
Medizinischen Fakultät Mannheim
der Ruprecht-Karls-Universität
zu
Heidelberg

vorgelegt von
Helen Glosse

aus
Wingerode
2022

Dekan: Prof. Dr. med. Sergij Goerd
Referent: Prof. Dr. med. Steffan Loff
Betreuer: Dr. med. Raphael Staubach

INHALTSVERZEICHNIS

TABELLENVERZEICHNIS.....	1
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	2
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	3
1 EINLEITUNG.....	4
2 EINFÜHRUNG IN DIE THEMATIK	6
2.1 Anatomie der Haut.....	6
2.1.1 Funktion.....	6
2.1.2 Aufbau der Haut.....	6
2.1.3 Eigenschaften der Haut	9
2.2 Narben.....	10
2.2.1 Entstehung	10
2.2.2 Einteilung der Verletzungstiefe	13
2.2.3 Pathophysiologie der Wundheilung	14
2.2.4 Hypertrophe Narbenbildung und Keloide.....	16
2.3 Allgemeine Narbentherapie	18
2.3.1 Historische Entwicklung.....	18
2.3.2 Wundheilung und Narbe	19
2.3.3 Kompression und Silikon	19
2.3.4 Physiotherapie, Narbenmassage.....	21
2.3.5 Intraläsionale Injektionen	22
2.3.6 Kryotherapie	23
2.3.7 Needling	23
2.3.8 Plastische Rekonstruktionen bei Narben	23

3	DIE LASERTHERAPIE	28
3.1	Grundlagen der Lasertherapie.....	28
3.2	Nicht-ablativer Laser.....	28
3.3	Ablative Laser.....	29
4	ZIEL DER ARBEIT	31
5	MATERIAL UND METHODEN.....	32
5.1	Patientenkollektiv.....	32
5.2	Laser	32
5.2.1	Operationstechnik/-ablauf.....	32
5.2.2	Postinterventionelles Vorgehen	33
5.2.3	Nachuntersuchungszeitraum	33
5.3	Erhebungsinstrumente	34
5.3.1	Fragebogen	34
5.3.2	Vancouver Scar Scale (VSS).....	34
5.3.3	POSAS	35
5.3.4	SF-36.....	35
5.3.5	Narbenmessung mittels Hautelastizitätsanalysesystem (DermaLab®, Fa. Cortex)	37
5.3.6	Statistische Analyse.....	38
6	ERGEBNISSE	40
6.1	Allgemeine Angaben zum Patientenkollektiv	40
6.2	Narbenentwicklung, Patientenzufriedenheit	41
6.3	SF-36 Der Gesundheitsfragebogen zur Lebensqualität.....	42
6.4	Vancouver Scar Scale (VSS)	44
6.5	POSAS	49
6.6	DermaLab®	55
6.7	DermaLab® und VSS	58
6.8	DermaLab® und POSAS.....	58

7 DISKUSSION	59
7.1 Patientenkollektiv.....	59
7.2 Fragebogen, SF-36	61
7.3 VSS und POSAS.....	62
7.4 DermaLab®.....	63
8 ZUSAMMENFASSUNG.....	65
9 LITERATURVERZEICHNIS.....	67
10 ANHANG.....	74
11 LEBENSLAUF	93
12 DANKSAGUNG	95

TABELLENVERZEICHNIS

Tab.1: Hauttypen nach Fitzpatrick¹²	10
Tab.2: Einteilung der thermischen Verletzungen nach Tiefe Grad I-IV¹⁴	14
Tab.3: Subskalen des SF-36	36
Tab.4: Alter der Patienten	40
Tab.5: Zeitlicher Abstand Lasertherapie	41
Tab.6: Ausmaß der thermischen Verletzung	41
Tab.7: Bewertung Rötung, Dehnbarkeit, Dicke, Juckreiz nach Lasertherapie..	42
Tab.8: Komplikationen nach Lasertherapie	42
Tab.9: Zufriedenheit, Wiederholung	42
Tab.10: Korrelation Dehnbarkeit VSS – Lasertherapie	48
Tab.11: Korrelation Höhe VSS, Anzahl Lasertherapien	49
Tab.12: Zusammenhang Dicke/Relief – Lasertherapie	50
Tab.13: POSAS Gesamtbewertung - Observer und Patient	53
Tab.14: POSAS Schmerz und Juckreiz – Patient	53
Tab.15: POSAS Geschmeidigkeit – Observer und Patient	54
Tab.16: POSAS Geschmeidigkeit 1./2. Lasertherapie – Observer und Patient .	54
Tab.17: Differenzen Retraktion gesunde Haut – Narbe	57
Tab.18: Retraktionszeit (DermaLab®) und VSS	58
Tab.19: Retraktion- Geschmeidigkeitsbewertung	58

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb.1: Hautschichten ⁸	7
Abb.2: Schichten der Epidermis ⁵	7
Abb.3: Schematische Darstellung der Dermis ⁹	8
Abb.4: Gefäßversorgung ⁸	9
Abb.5: Ursachen thermischer Verletzungen im Kindesalter	11
Abb.6: Verbrühung an Kopf, Rumpf, Arme	12
Abb.7: Verbrühung am rechten Arm und Thorax	12
Abb.8: Stromverbrennung an einem Finger	13
Abb.9: Typisches histologisches Bild einer hypertrophen Narbe ³⁶	17
Abb.10: Typisches histologisches Bild eines Keloids ³⁶	17
Abb.11: Kompressionsshirt	20
Abb.12: Kompressionshandschuh	21
Abb.13: Needling	23
Abb.14: Narbenkorrekturen der Hand	24
Abb.15: Kombinierte Narbenplastiken	24
Abb.16: Narbenrelease links, Dermisersatz mit Integra® rechts.....	25
Abb.17: BTM-Dermisersatz kurz vor Transplantation	26
Abb.18: Oben: Expanderimplantation, Unten: nach Expanderexplantation und Narbenkorrektur.....	27
Abb.19: DeepFX links und ActiveFX rechts	30
Abb.20: CO2-Laser mit Absaugung	33
Abb.21: Vancouver Scar Scale ⁹¹	35
Abb.22: DermaLab® Elastizitätsmodul ⁹⁸	38
Abb.23: Geschlechterverteilung	40
Abb.24: SF-36: Alle Kategorien im Vgl. zur Normstichprobe	43
Abb.25: Gesundheitswahrnehmung Patientenkollektiv/Normstichprobe im Vergleich zum Vorjahr	44
Abb.26: VSS-Gesamtpunkte	45
Abb.27: Punktbewertung (VSS) Höhe der Narben.....	45
Abb.28: Punktbewertung (VSS) der Dehnbarkeit.....	46
Abb.29: Punktbewertung (VSS) der Rötung der Narbe	46
Abb.30: Punktbewertung (VSS) der Pigmentierung.....	47
Abb.31: Bland-Altman-Plot VSS vor und nach 1. Lasertherapie	48
Abb.32: POSAS-Observer, alle Kategorien	49
Abb.33: POSAS-Patient, alle Kategorien	50
Abb.34: Differenzen POSAS-Observer-Bewertung Relief.....	51
Abb.35: Differenzen POSAS-Patient-Bewertung Relief	51
Abb.36: Differenzen POSAS-Observer-Bewertung Dicke.....	52
Abb.37: Differenzen POSAS-Patient-Bewertung Dicke	52
Abb.38: Retraktionszeiten (ms) Narbe	55
Abb.39: Retraktionszeit - Narbe - Vor und nach Lasertherapie.....	56
Abb.40: Retraktionszeit - Gesunde Haut / Narbe - Nach 1. Lasertherapie.....	57

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

VSS	Vancouver Scar Scale
bFGF	Basic Fibroblast Growth Factor
TGF- β 1	Transforming-Growth-Factor-beta-1
MPa	Mega Pascal als Einheit für Druck
ms	Millisekunden
POSAS	Patienten and Observer Scar Assessment Scale
5-FU	5-Flourouacil
KOF	Körperoberfläche
Fa	Firma
r	Korrelationskoeffizient
PDL	Pulsed-dyed-Laser
BTM	Biodegradable Temporising Matrix

1 EINLEITUNG

Das Olgahospital in Stuttgart ist eines der traditionsreichsten, größten und seit dem Umzug 2014 modernsten Kinderkrankenhäuser in Deutschland. Als Klinikum der Maximalversorgung werden in der pädiatrischen, unfall- und orthopädischen, HNO- und kinderchirurgischen Abteilung jährlich ca. 15000 Kinder und Jugendliche stationär behandelt. Darüber hinaus finden in den ambulanten Sprechstunden ca. 100.000 Patientenkontakte pro Jahr statt. Die Zuwanderung der Patienten reicht weit über Stuttgart und Baden-Württemberg hinaus.

Das „Olgäle“ wurde am 9. August 1842 von zwei Stuttgarter Ärzten als ein Kinderkrankenhaus gegründet, anfangs mit elf stationären Betten. Den Namen bekam das Kinderkrankenhaus aufgrund der Unterstützung von der russischen Zarentochter Olga, Kronprinzessin und später Königin von Baden-Württemberg. Ab 1849 stand die kleine Klinik unter dem persönlichen Schutz der Kronprinzessin und erhielt den Namen „Olga-Heilanstalt für Kinder“. 1882 wurde die kinderchirurgische Klinik in Stuttgart gegründet.

Die kinderchirurgische Klinik des Olgahospitals ist eines der größten Verbrennungszentren für Kinder in Deutschland und hat eins von drei Intensivbetten für schwerbrandverletzte Kinder in Baden-Württemberg. Es werden pro Jahr circa 180 neue Patienten stationär nach Verbrennungen oder Verbrühungen behandelt. In diesem Zusammenhang werden zahlreiche Operationen im Rahmen der primären Versorgung sowie der sekundären plastischen Eingriffe durchgeführt¹.

Wöchentlich werden ca. 40 Patienten in der Verbrennungssprechstunde gesehen. Es werden Indikationen für Transplantationen und plastisch-rekonstruktive Eingriffe gestellt und in Zusammenarbeit mit den immer anwesenden Kompressionsspezialisten Kompressionskleidung indiziert, ausgemessen und die bereits vorhandene Kompressionskleidung überprüft. Auf Grund der intensiven Auseinandersetzung mit dieser Problematik hat sich im Laufe der letzten drei Jahrzehnte in dieser Funktion ein beträchtlicher Erfahrungsschatz in der kinderchirurgischen Abteilung angesammelt.

Nach thermischen Verletzungen kommt es nach Abschluss der Akutversorgung in Abhängigkeit von der Tiefe der Läsionen zu großflächigen, störenden Narben. Die konservative Narbenbehandlung mittels Salbentherapie, Kompression, Silikon, Injektionen von zum Beispiel Kortison sowie plastische Rekonstruktionen sind traditionelle Hauptbestandteile in der Nachsorge². Die konservative Nachbehandlung ist wirksam, erfordert jedoch stetige Compliance der jungen Patienten und deren Eltern. Eine konservative Therapie allein dauert regelmäßig mehrere Jahre.

Mit der Lasertherapie von Verbrennungsnarben hat sich zur aktuellen Zeit ein weiterer, sehr wirksamer Baustein in die Nachbehandlung integriert. Die Lasertherapie ist die Verbindung zwischen der rein konservativen und chirurgischen Nachsorge von Verbrennungsnarben. Dabei werden ablativ Laser und nicht-ablativ Laser eingesetzt um die Narben sowohl in Kontur, Dicke als auch Farbe und Begleitbeschwerden wie Juckreiz und Schmerzen positiv zu beeinflussen³.

Schon vor zehn Jahren wurde in der kinderchirurgischen Klinik des Olgahospitals die Lasertherapie von Verbrennungsnarben etabliert. Über 150 laserchirurgische Eingriffe wurden seitdem an ca. 80 Patienten bei uns durchgeführt. Trotzdem gibt es speziell in der Frage der Lasertherapie bei Kindern mit hypertrophen Verbrennungsnarben noch wenige Untersuchungen darüber, wie effizient und zufriedenstellend diese Methodik ist. Dies gab den Anlass eine Studie bezüglich der objektiven Effektivität und der subjektiven Patientenzufriedenheit nach Lasertherapie von Verbrennungs- bzw. Verbrühungsnarben zu erarbeiten. Es wurden alle Patienten, die in der Kinderchirurgie

des Olgahospitals aufgrund von Narben nach thermischer Verletzung einmal oder mehrfach gelasert wurden, eingeschlossen. Der Zeitpunkt des Lasertherapiebeginns, die Häufigkeit der durchgeführten Therapien, die objektive Narbenbeurteilung mittels VSS, POSAS und mithilfe eines Hautelastizitätsanalysesystems, DermaLab® (Fa. Cortex), sowie die Ergebnisse als subjektive Patienteneinschätzung wurden bestimmt und ausgewertet.

In diesem Rahmen gliedert sich die Studie in drei Teile. Zunächst wurden alle Patienten, die in der Zeit von 2012 bis 2021 eine Lasertherapie erhielten, bezüglich Laserzeitpunkt, -häufigkeit und Lasereinstellungen eruiert. Der weitere Part beinhaltet die subjektive Patienteneinschätzung, die über einen Fragebogen ermittelt wurde. Zuletzt wurden die Narben, die mittels Laser therapiert wurden, mithilfe des DermaLab® (Fa. Cortex) vermessen. Besonderen Fokus wurde auf die Messung der Elastizität der Narben durch das DermaLab® gelegt, da es bis zum aktuellen Zeitpunkt keine vergleichbare Methode gibt, Ergebnisse nach Lasertherapien auszuwerten.

Zu Beginn der Arbeit wird zunächst die Anatomie und Funktion der Haut mit den einzelnen Schichten beschrieben. Darauf aufbauend werden die Hauttypen mit deren Eigenschaften kurz erläutert. Um den weiteren Rahmen der Thematik theoretisch einzugrenzen, werden Unfallmechanismen von thermischen Verletzungen gezeigt. Im folgenden Kapitel wird die Pathophysiologie der Wundheilung gezeigt und ebenso die Entstehung der Narben z.B. auch nach Spalthauttransplantation mit den strukturellen Gegebenheiten aufgeführt.

Danach schließt sich die Therapie der Narben und Keloide an. Es wird die historische Entwicklung bis zum aktuellen Zeitpunkt aufgeführt. Mit Beschreibung der konservativen und chirurgischen Narbentherapie schließt sich dieses Kapitel und es folgt die Ausarbeitung und Wirkungsweise der Lasertherapie. Damit ist der theoretische Teil beendet und es werden die Ziele mit Fragestellungen der Arbeit aufgeführt. Es folgt der Material- und Methodenteil. Begonnen wurde erst mit der Deskription der vorliegenden Patientendaten. Im Anschluss folgt die Darstellung des Lasertherapieablaufs. Danach werden die Erhebungsmittel wie unter anderem ein eigens für die Studie erstellter Fragebogen erörtert. Die weiteren Erhebungsinstrumente für die Studie wie der Vancouver Scar Scale, der SF-36 sowie das DermaLab® Gerät werden veranschaulicht. Danach werden die Ergebnisse beschrieben und durch eine statistische Analyse dargestellt. Die erlangten Resultate werden interpretiert und diskutiert. Im letzten Kapitel erfolgt die Zusammenfassung und ein Fazit und Ausblick auf zukünftige Forschungsansätze.

2 EINFÜHRUNG IN DIE THEMATIK

2.1 Anatomie der Haut

2.1.1 Funktion

Die Haut ist das größte Organ des menschlichen Körpers. Die Hauptfunktion der Haut ist der Barrierschutz gegen Hitze, Kälte oder Infektionen. Neben der Grundfunktion als protektives Organ ist eine intakte Haut wesentlicher Bestandteil für eine ausgeglichene Flüssigkeitsbilanz⁴. Als Sinnesorgan stellt die Haut den entscheidenden Teil in der Sensibilitätswahrnehmung dar. Die Farbe und Beschaffenheit der Haut vermitteln sowohl wichtige Aussagen zum Gesundheitszustand des Menschen als auch über die soziale Integrität des Menschen.

Es werden die Felderhaut und die Leistenhaut unterschieden. Die Felderhaut ist mit Drüsen und Haarfollikeln ausgestattet und macht mit 96% den größten Anteil der Körperoberfläche aus. Die Leistenhaut hingegen ist lediglich an Hand- und Fußflächen zu finden und enthält Schweißdrüsen. In diesen Regionen finden sich auch die meisten Sensibilitätsrezeptoren. Die Dicke der Haut beträgt je nach Körperregion etwa 1-2mm⁵.

Um den Barrierschutz aufrecht zu erhalten, befindet sich die Haut in einem ständigen Regenerationsprozess. Dabei werden ausgehend vom Stratum basale der Epidermis neue Zellen bis zur Hautoberfläche abgegeben. Dort sterben diese Zellen ab und verhornen. Nach 30 Tagen werden diese Zellen abgeschilfert⁶.

2.1.2 Aufbau der Haut

Makroskopisch bildet die Haut drei Schichten: die Epidermis, die Dermis und die Subcutis (s.Abb.1). Embryologisch entwickelte sich die Epidermis aus dem Ektoderm, die Dermis und Subcutis aus dem Mesoderm⁷.

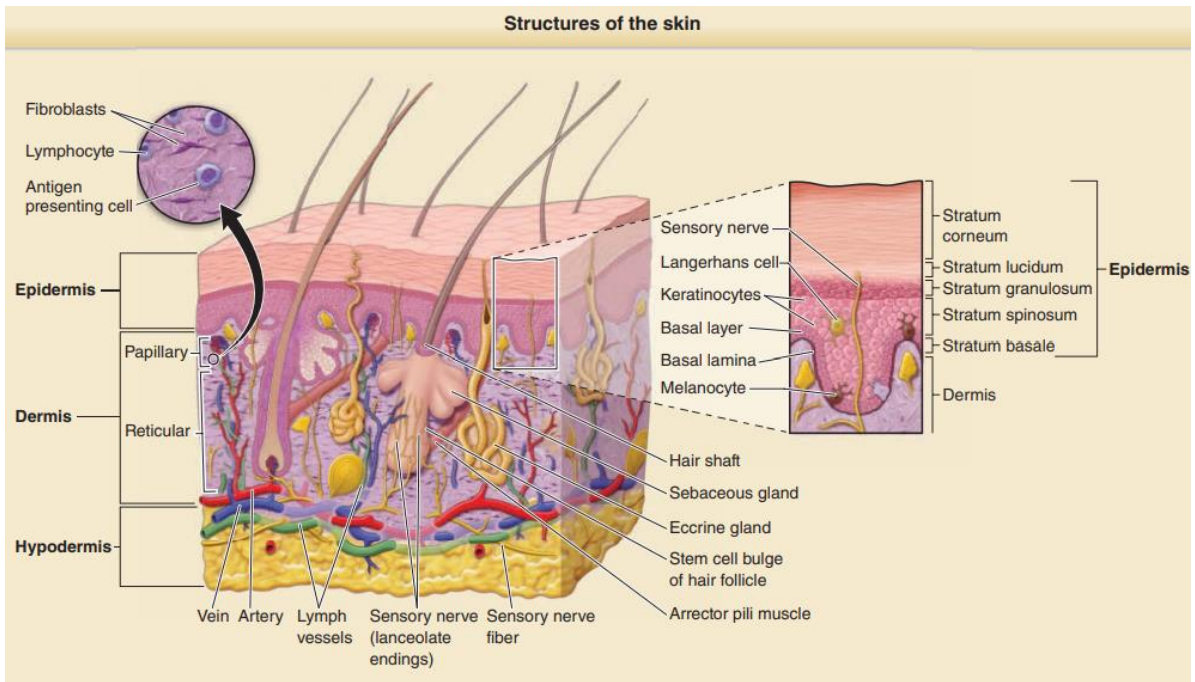


Abb.1: Hautschichten⁸

Die Epidermis bildet die äußerste Barriere der Haut und ist aus fünf Schichten aufgebaut. Es sind von der Tiefe bis zur Oberfläche folgende Schichten zu unterscheiden: Stratum basale, Stratum spinosum, Stratum granulosum, Stratum lucidum sowie Stratum corneum (s.Abb.2). Diese Schichten bestehen aus Keratinoblasten bzw. Keratinozyten unterschiedlicher Entwicklungsstufen, wodurch das mehrschichtig verhornende Plattenepithel entsteht. Die Zellteilung und somit die Regeneration erfolgt aus der tiefsten Epithelschicht heraus, dem Stratum basale. Außerdem sind die Keratinozyten der Basalschicht für die Adhäsion an der Dermis verantwortlich.

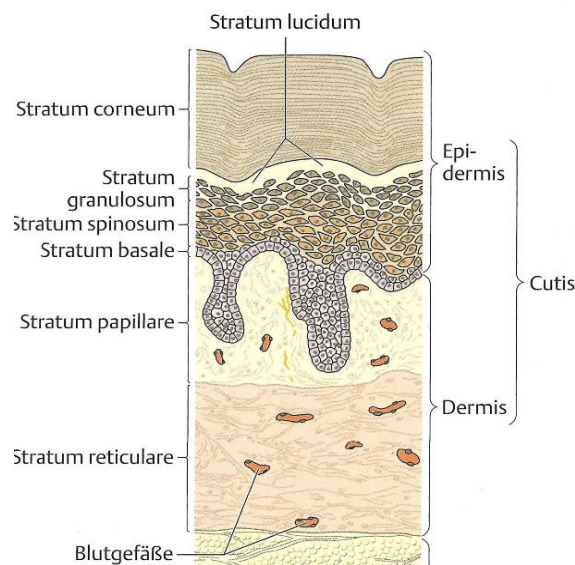


Abb.2: Schichten der Epidermis⁵

Die Epidermis hat keine Blutgefäße und wird per Diffusion aus den Gefäßen der Dermis versorgt. Die Neurorezeptoren liegen, bis auf die Merkel-Zellen, ebenfalls dermal. Die Merkel-Zellen liegen auf der Basalmembran und gehören zu den Mechanorezeptoren und dienen der Druckempfindung⁶.

Die Dermis (s.Abb.3) gliedert sich in Stratum papillare und Stratum reticulare. Über das Stratum papillare ist die Epidermis mit der Dermis in wellenförmigen Verlauf miteinander verbunden. In die sogenannten Papillen ziehen Kollagenfasern bis in die Spitzen, sodass einer Abscherung vorgebeugt und eine Festigkeit gewährleistet wird. Dadurch wird die maximale Fläche für die Diffusion und Stabilität ausgenutzt. Das Stratum papillare macht lediglich 20% der Dermis aus. In ihr befindet sich hauptsächlich lockeres Bindegewebe mit Kollagen Typ - III - Fasern. Weiterhin wird diese Schicht durch ein Kapillarnetz durchzogen. Darüber hinaus enthält sie sowohl Nervenendigungen der Meissner-Tastkörperchen als auch Immunzellen des Bindegewebes wie Fibroblasten und Lymphfollikel⁶ (s.Abb.3).

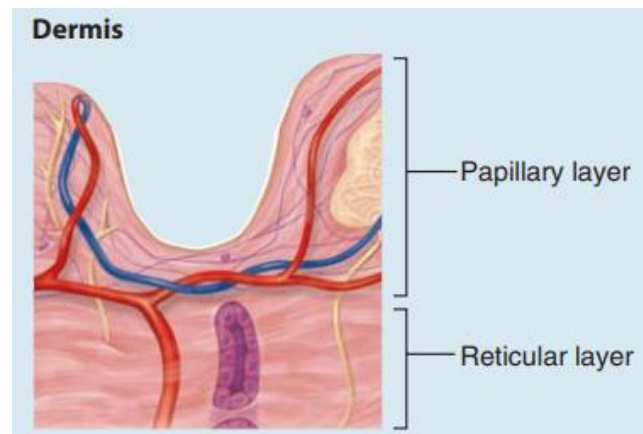


Abb.3: Schematische Darstellung der Dermis⁹

Der Übergang von lockerem Bindegewebe des Stratum papillare in das festere kollagene Faserbündel des Stratum reticulare ist fließend. Diese Schicht macht 80% der Dermis aus und besteht hauptsächlich aus Kollagen Typ - I - Fasern, die sich mikroskopisch durch dichte, gewellte Fasern charakterisieren. Die Kollagenfasern sind in verschiedenen Winkelrichtungen angelegt, sodass eine Dehnbarkeit der Haut ermöglicht wird. Anhand der Ausrichtung der Kollagenfasern entstehen die Hautspaltlinien. Geformt werden diese durch Muskelkontraktion und verlaufen in der Regel quer zur Muskelfaserrichtung⁵.

Zwischen den Kollagenfasern ist ein dichtes Gefäßnetz angesiedelt, welches im Vergleich zu anderen Wirbeltieren überproportional gut ausgeprägt ist¹⁰. Es findet sich ein oberflächliches Gefäßnetz (Plexus superficialis) und ein tiefes Gefäßgeflecht (Plexus profundus), welches zwischen Dermis und Subcutis gelegen ist. Beide Gefäßnetze sind durch vertikale Gefäßverläufe miteinander verbunden. Dadurch ist nicht nur die Nährstoffversorgung sondern auch die Wärmeregulation gewährleistet. In der Dermis befinden sich zudem die Hautanhangsgebilde wie Haarfollikel, Talg- und Schweißdrüsen^{6,8} (s.Abb.4).

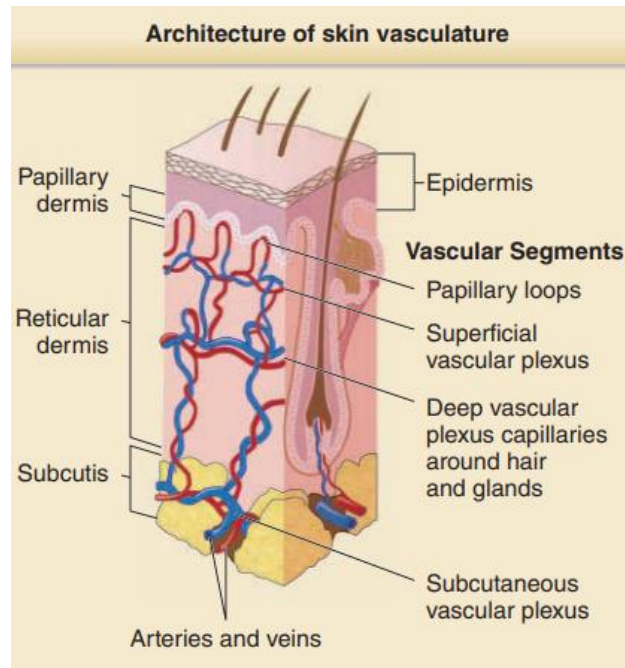


Abb.4: Gefäßversorgung⁸

Unterhalb der Dermis liegt die Subkutis, welche die Verbindung zur Körperfaszie bildet. Deren Hauptanteil besteht aus Fettgewebe und lockerem Bindegewebe. Die Funktion ist je nach Körperregion als Polster, Verschiebeschicht oder Energiespeicher zu sehen. Wie stark die Subkutis ausgebildet ist, hängt von unterschiedlichen Faktoren ab, wie unter anderem Geschlecht, Konstitution und hormonellen Einfluss. Dabei wird jedoch sogenanntes Baufett, an Handflächen oder Fußsohlen von Depotfett, wie am Bauch und Hüften, unterschieden⁵.

2.1.3 Eigenschaften der Haut

Melanozyten sind die verantwortlichen Zellen für die Pigmentierung unserer Haut. Sie sind epidermal auf der Basalmembran gelegen und enthalten Melanosomen als Zellorganelle, durch die die Melaninproduktion erfolgt. Die Melanozyten können zwei Arten von Melanin bilden, das braun-schwarze Eumelanin und das rotgelbe Phäomelanin. Das Melanin wird mit den Keratinozyten zur Oberfläche hin mittransportiert. Die Pigmentierung ist sowohl von der Konzentration der Melaninarten als auch von der Leistung der Melanosomen bestimmt. In dunkler Haut ist hauptsächlich das Eumelanin von großen Melanosomen zu finden. Die Melaninbildung wird durch UV-Strahlung stimuliert¹¹. Es kommt je nach genetischer Determinierung zu unterschiedlicher Basispigmentierung und Stimulierbarkeit der Zellen¹².

Thomas Fitzpatrick hat für die unterschiedlichen Hauttypen eine verwendbare Einteilung erstellt, die für die klinische Arbeit und therapeutische Konsequenzen zum Tragen kommt. Dabei gibt es sechs Hauttypen von Grad I, sehr helle empfindliche Haut bis hin zur schwarzen Haut (Grad VI) (s.Tab.1). Die Einteilung zielte initial darauf ab, bei hellhäutigen Typen eine therapeutische Anwendung von PUVA (eine Photochemotherapie bei Psoriasis) durchzuführen. Dabei waren anfangs nur vier

Hauttypen zu unterscheiden. Die Erweiterung um weitere dunkle Hauttypen wurde im Verlauf ergänzt¹³.

Tab.1: Hauttypen nach Fitzpatrick¹²

Hauttyp		Hautfarbe		Entwicklung von Sonnenbrand
I		Sehr helle Haut, Sommersprossen, rote Haare, helle Augen		Verbrennt praktisch immer, bräunt praktisch nie
II		Helle Haut, blonde Haare, helle Augen		Verbrennt leicht, bräunt minimal
III		Hellbraune Haut, hellbraune bis dunkelbraune Haare, helle oder braune Augen		Verbrennt gelegentlich/bräunt gut
IV		Mittelbraune Haut, dunkle Haare, dunkle Augen		Verbrennt selten, bräunt sehr gut
V		Dunkelbraune Haut (asiatischer Typ, Lateinamerikaner)		Verbrennt sehr selten/bräunt sehr gut
VI		Schwarze Haut (Afrikaner, Afroafrikaner)		Verbrennt extrem selten bis gar nicht/sehr dunkle Pigmentierung

2.2 Narben

2.2.1 Entstehung

In Deutschland müssen jährlich ca. 30.000 thermische Verletzungen bei Kindern ärztlich versorgt werden. Dabei ist bei etwa 6.000 Kindern eine stationäre Versorgung erforderlich. Die meisten Kinder mit einer thermischen Verletzung sind im Kleinkindalter. Verbrühungen bzw. Verbrennungen stehen in Deutschland nach Verkehrs- und Ertrinkungsunfällen an dritter Stelle der Unfallmechanismen bei Kindern¹⁴.

Thermische Verletzungen bei Kindern treten zu 98% im häuslichen Umfeld auf. Ursächlich sind bei über 70% Verbrühungsverletzungen¹⁴. Besonders offene Flammen oder Verpuffungen sind während der Grillzeit eine häufige Ursache. Seltener Ursachen sind Stromunfälle oder Verätzungen¹ (s.Abb.5).

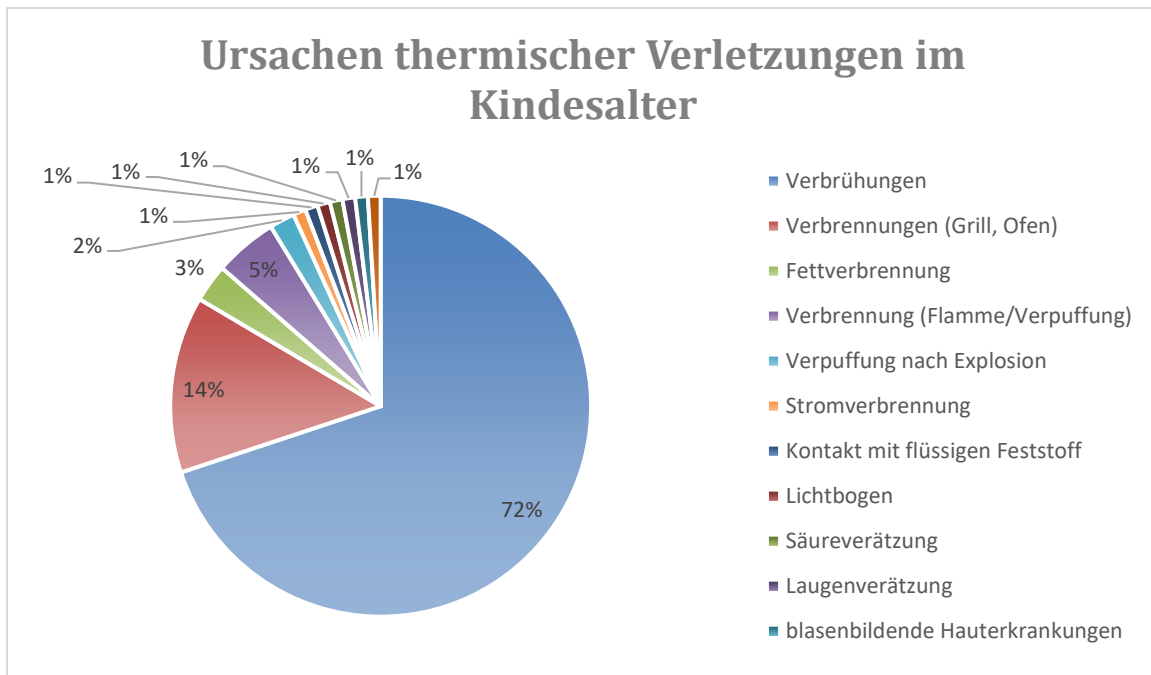


Abb.5: Ursachen thermischer Verletzungen im Kindesalter

Der klassische Unfallmechanismus ist das Herunterziehen von heißen Flüssigkeiten von einer Arbeitsfläche. Deshalb sind die betroffenen Areale meist der Kopf, der ventrale Rumpf und die Arme. Beide Verletzungsmuster zeigen sich oft im klinischen Alltag (s.Abb.6 und 7).



Abb.6: Verbrühung an Kopf, Rumpf, Arme



Abb.7: Verbrühung am rechten Arm und Thorax

Bei Kontaktverbrennung an heißen Oberflächen sind vor allem die Hände betroffen. Die häufigsten Verbrennungen bei älteren Kindern entstehen meist durch Versuche an Zündhölzern oder Brandbeschleuniger beim Grillen. Verbrennungen verursachen meist tiefere Verletzungen als Verbrühungen. Die Fettverbrennungen bewirken aufgrund der Konsistenz und der folgenden längeren Kontaktdauer ebenso meist tiefere Verletzungen. Das Ausmaß der Tiefe kann jedoch, insbesondere bei Verbrühungen, meist erst im Verlauf der Wundheilung beurteilt werden^{15,16}.



Abb.8: Stromverbrennung an einem Finger

2.2.2 Einteilung der Verletzungstiefe

Thermische Verletzungen werden in vier Grade aufgeteilt. Grad I bezeichnet dabei nur eine epidermal betroffene Läsion ohne Blasenbildung. Dies tritt zum Beispiel auch im Rahmen eines Sonnenbrandes auf. Der Befund heilt folgenlos ab. Sobald sich bei einer thermischen Verletzung Blasen entwickeln, liegt mindestens eine zweitgradige Verletzung vor. Bei einer Grad IIa-Verletzung ist ausschließlich die blasig abgehobene Epidermis geschädigt, die Dermis ist intakt. Diese IIa-Verletzungen verheilen deshalb in der Regel ohne Narben, aber häufig mit Pigmentverschiebungen. Eine IIb-Verletzung kann in „oberflächlich IIb“ und „tief IIb“ differenziert werden. Durch die Tiefe der Schädigung der Dermis kommt es zu mehr oder weniger ausgeprägten Texturstörungen bzw. zu einer Narbenbildung. Drittgradige thermische Verletzungen betreffen die gesamte Dermis und reichen bis in die Subcutis. Diese Verletzung heilt nicht spontan ab und es entstehen immer Narben. Zur suffizienten Versorgung ist eine chirurgische Intervention erforderlich. Bei thermischen Verletzung vierten Grades ist das Gewebe einschließlich der angrenzenden Strukturen wie Muskeln, Sehnen und Knochen geschädigt und bedarf ebenso einer chirurgischen Versorgung bzw. Rekonstruktion¹⁷(s.Tab.2).

Tab.2: Einteilung der thermischen Verletzungen nach Tiefe Grad I-IV¹⁴

Einteilung	Klinik	Histologie	Prognose
Grad I	Hautrötung, Schwellung, starke Schmerzen („Sonnenbrand“)	oberflächliche Epithelschädigung ohne Zelltod	vollständige Abheilung ohne Narben, ohne Pigmentationsstörung
Grad IIa	Blasenbildung, roter Wundgrund, starke Schmerzen, Hautanhangsgebilde intakt	Schädigung der Epidermis und oberflächlicher Anteile der Dermis	Abheilung ohne Narben innerhalb von 10-14 Tagen
Grad IIb	Blasenbildung, weißlicher Wundgrund, mäßige Schmerzen, Hautanhangsgebilde mitbetroffen	Dermis weitgehend geschädigt	Abheilung nur mit Narbenbildung möglich, Indikation zur chirurgischen Therapie
Grad III	Gewebe nach Reinigung weiß, keine Schmerzen	Epidermis und Dermis vollständig zerstört	Abheilung mit Narben, Indikation zur chirurgischen Therapie
Grad IV	Gewebe verkohlt, keine Schmerzen	Epidermis, Dermis und Subkutangewebe zerstört, evtl. Muskeln, Sehnen, Knochen und Gelenke zerstört	Abheilung mit Narben, chirurgische Therapie indiziert, evtl. Amputation erforderlich

2.2.3 Pathophysiologie der Wundheilung

Der Aufbau der Haut ist ein komplexes System aus verschiedenen Geweben. In der Haut finden sich neben dem mehrschichtig verhornenden Plattenepithel die Hautanhangsgebilde wie Drüsen und Haare. Des Weiteren findet sich dort eine komplexe Nervenversorgung für die Funktion als Sinnesorgan, sowie die Lymph- und Blutgefäße. Nach einer Verletzung der Haut sind dadurch eine Reihe von Reparaturmechanismen erforderlich, welche verschiedene Zelltypen verlangen¹⁸.

Die Wundheilung ist ein Vorgang, der in verschiedenen Stadien abläuft. Hierbei wird nach Blutstillung, Zellvermehrung, Kontraktion und Epithelialisierung wieder ein geschlossenes Integument hergestellt¹⁹.

Die Phasen der Wundheilung laufen überlappend ab. Es handelt sich um die Exsudationsphase als sofortige Reaktion, folgend von der inflammatorischen Phase, an die sich die Proliferationsphase anschließt. Nach der Proliferationsphase tritt die Migrationsphase und zuletzt die Remodellingphase ein.

Exsudationsphase

Die Sofortreaktion tritt nach chemischer als auch nach mechanischer Reizung einer Verletzung ein. Am Wundrand wird die Gerinnungskaskade aktiviert und es werden chemische Signale durch die verletzten Zellen sowie Vasodilatation in der Umgebung der Wunde für den Reparaturmechanismus freigesetzt²⁰. Die erhöhte Gefäßpermeabilität sorgt für den Übertritt von Blutplasma mit Interleukinen, Akute-Phase-Proteinen sowie Prostaglandinen in das Interstitium. Durch die Invasion der Mediatoren soll es zu einer physiologischen Wundreinigung kommen²¹. Thrombozyten im Wundbereich verbinden sich zu größeren Aggregaten und es entsteht ein provisorisches Netzwerk. Das Netzwerk ist von Thrombozyten, Makrophagen, Erythrozyten sowie Fibronectin durchsetzt, welche neben Blutstillung und Wundreinigung für die Proliferation der Zellen ausschlaggebend sind^{10,22}.

Inflammatorische Phase

Mit der Sofortreaktion der Wundheilung setzt parallel die inflammatorische Phase ein. Diese Reaktion ist durch die Einwanderung der Leukozyten, speziell der neutrophilen Leukozyten, bedingt. Freisetzung von Zytokinen fördert die Ansammlung von Makrophagen, Fibroblasten und Endothelzellen. Durch diese Zellen kommt es zur Beseitigung avitalen Gewebes und Freisetzung von Proteinase und somit Fortführen der Wundheilungskaskade²³. Freigesetzte Entzündungsmediatoren sorgen für die Aktivierung von Fibroblasten und Epithelzellen. Ab diesem Punkt beginnt die Entwicklung des interstitiellen Gewebes durch die Fibroblasten. Es wird Kollagen Typ I als Vorstufe des reifen Kollagens sowie Kollagen Typ III als reifes Kollagen gebildet.

Eingewanderte Monozyten differenzieren sich zu Makrophagen, die sowohl für den enzymatischen Gewebeabbau als auch für den Abbau von übriggebliebenem organischen Material durch Phagozytose zuständig sind. Durch den Basic-Fibroblast-Growth-Factor werden Fibroblasten zur Vermehrung angeregt²⁴. Über die Entzündungsphase hinaus hat der Transforming-Growth-Factor-beta-1 mit der Koordination der Reparaturmechanismen und Stimulation der zuständigen Zellen eine essenzielle Aufgabe²⁵. Die Entzündungsphase dauert etwa vier Tage.

Am Ende der inflammatorischen Phase beginnt die Angiogenese, die ein wesentlicher Baustein für eine sichere Wundheilung ist. Durch das Einsprießen zunächst kleiner Kapillaren und folgender größerer Gefäße wird die Sauerstoff- und Nährstoffversorgung der neu gebildeten Gewebematrix sichergestellt²⁶.

Proliferationsphase

Die Proliferationsphase ist durch weitere Migration von Fibroblasten und Makrophagen geprägt. Diese Phase dauert etwa 14 Tage. In dieser Zeit wird ein neues provisorisches Gewebe mit kleinen Gefäßen, Bindegewebe und extrazellulärer Matrix gebildet²⁷. Vorhandene Fibroblasten und Makrophagen setzen permanent Wachstumsfaktoren für die fortschreitende Gewebebildung frei. Auf dem Boden des neu entstandenen Gewebes kann später die Reepithelisierung stattfinden²⁴. Kapillaren, Makrophagen und Fibroblasten bilden zusammen das typische Granulationsgewebe. Die Fibroblasten ändern sich zum Teil in Myofibroblasten, um sich untereinander sowie mit der Matrix zu verbinden¹⁸. Nach Verbindung der Zellen sind diese fähig Aktin zu bilden. Dabei kommt es je nach mechanischer Belastung zu

einer Faserausrichtung und einer weiteren Verknüpfung untereinander. Über Aktinfasern der Myofibroblasten kann eine Kontraktion zwischen den Zellen stattfinden. Myofibroblasten und Fibroblasten sind die hauptverantwortlichen Zelltypen für den Wundverschluss und die Anordnung der Kollagenfasern, die letztendlich der Hauptbestandteil der Narben sind²⁸.

Oberflächlich verlaufen die Aktinfasern senkrecht zur Körperoberfläche, in der Tiefe parallel dazu. Dies hat eine Wundkontraktion zur Folge²⁴. Inwieweit die Kontraktion ausgeprägt ist, hängt vom Allgemeinzustand des Patienten, Belastung der Wunde sowie der Form oder einer vorausgegangenen Infektion der Wunde ab. Die Beanspruchung ist insofern ausschlaggebend, weil eine zu frühe hohe Belastung einen Reiz für die Myofibroblasten mit folgender zusätzlicher ungerichteter Kontraktion führen. Zudem kann eine übermäßige Beanspruchung auch eine übersteuerte Kollagensynthese auslösen¹⁰.

Migrationsphase

In den oberen Schichten kommt es durch Einwanderung der Keratinozyten zur Epitheliasierung. Die Reepithelialisierung basiert auf den angesiedelten Stammzellen der Epidermis. Die Migration der Keratinozyten setzt bereits kurz nach der Verletzung zum einen durch Durchtrennung der Verbindung untereinander zum anderen durch die Freisetzung von Wachstumshormonen ein²⁹. Durch die gebildete provisorische Matrix haben die Zellen nun die Möglichkeit den Epithelrasen zu bilden. Ausschlaggebend für eine neue Epithelschicht ist ein sauberer Wundgrund mit intakter Basalmembran. Diese Epithelialisierung beginnt bereits vier Tage nach Unfall und kann bis zu drei Wochen andauern³⁰.

Remodellierungsphase

Als letzte Phase schließt sich die Remodellierungsphase an. Ziel dieser Phase ist die Wiederherstellung der Funktionalität und Stabilität des Gewebes. Nach Wundverschluss durch die Reepithelisation wird nun das dermale Ersatzgewebe umgebaut³¹. Im Dermisbereich wird die Vorstufe Kollagen I in das stabile Kollagen III umgewandelt. Die meisten Myofibroblasten werden durch Apoptose in dieser Phase entfernt²⁸. Ein „Tissue Inhibitor of Metalloproteinase“ sorgt für ein ausgeglichenes Verhältnis, sodass die Proteolyse nicht überwiegt³². Während der Phase wird stetig neues Kollagen synthetisiert. Dieses neue Gewebe führt zu Verbindungen der Fasern, die stabiler sind und das Gewebe festigen¹⁰. Das fertige Gewebe weist insgesamt weniger Zellen und Gefäße auf. Hautanhangsgebilde wie Haare und Drüsen sind nicht Inhalt der Narbe, sondern sprießen vom Randbereich ein. Die ausgereifte Narbe erscheint deshalb verblasst und trocken¹⁸.

2.2.4 Hypertrophe Narbenbildung und Keloide

Narbengewebe unterscheidet sich gegenüber der gesunden Haut durch verstrichene Reteleisten, fehlende Hautanhangsgebilde und eine veränderte Architektur bei eingeschränkter mechanischer Belastbarkeit³³.

Eine hypertrophe Narbe entsteht im Rahmen einer tiefen Verletzung, bei der die Dermis mit betroffen ist. Bei Wunden, die die Dermis nicht betreffen, entstehen keine Keloide oder hypertrophen Narben^{22,34}.

Im Rahmen der Wundheilung kommt es zu einem Ungleichgewicht der Apoptose der Zellen, ebenso zu einer Hyperproliferation der extrazellulären Matrix und des Kollagens³⁵. Hypertrophe Narben erscheinen als meist knotige Veränderungen der

Haut. Mikroskopisch finden sich hauptsächlich dünne Kollagenbündel vom Typ-III und -V. Im Vergleich dazu finden sich in gesunder Haut vor allem kräftige Kollagenbündel vom Kollagen Typ-I²². Die Wundgrenzen werden von hypertrophen Narben nicht überschritten und eine Entzündungsreaktion im Wundrandbereich erscheint milde ausgeprägt²².

Dagegen verlaufen die Kollagenfasern in den Keloiden ungerichtet in dicken Kollagenbündeln mit ausgeprägter extrazellulärer Matrix (s.Abb.9 und 10)^{36,37}. Das keloide Kollagen ist dem der hypertrophen Narben sehr ähnlich, sodass klinisch nicht immer eine klare Trennung möglich ist³⁴. Histologisch fällt jedoch auf, dass am Übergang zwischen Keloid und gesunder Haut eine starke Entzündungsreaktion stattfindet und vor allem dadurch die Wundgrenzen dadurch nicht eingehalten werden³⁶.

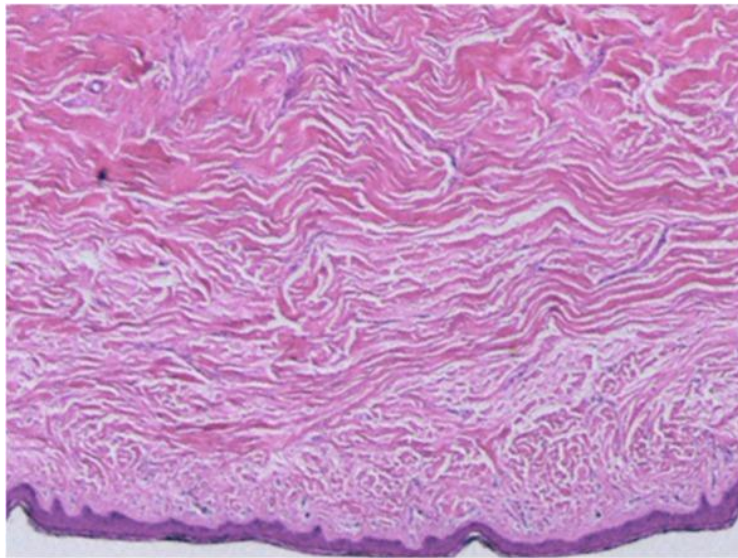


Abb.9: Typisches histologisches Bild einer hypertrophen Narbe³⁶

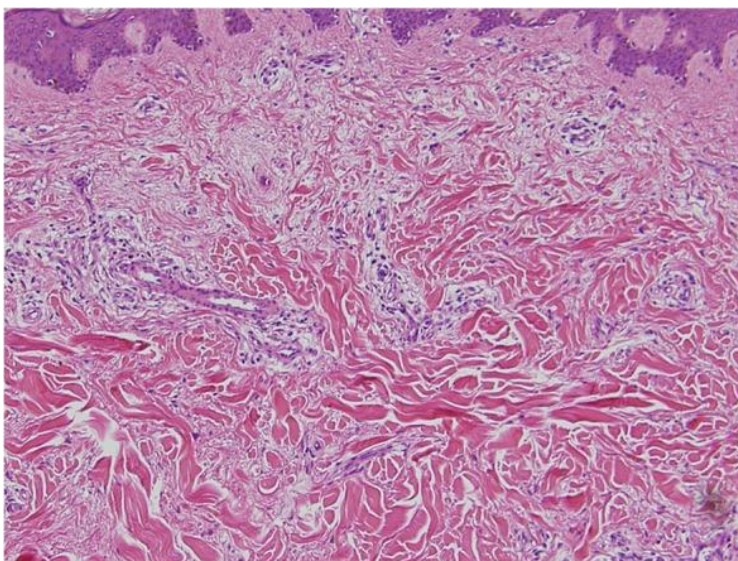


Abb.10: Typisches histologisches Bild eines Keloids³⁶

Ursächlich für eine fehlgesteuerte Wundheilung ist zum Beispiel eine Wundinfektion. Aufgrund der häufig flächigen Ausprägung und Tiefe der Wunden neigen Verbrennungs- und Verbrühungswunden dazu hypertroph zu werden. Je länger die Abheilung der Verbrennung dauert, desto höher ist das Risiko für eine Hypertrophie der Narbe³⁸.

Zu beachten ist, dass hypertrophe Narben unabhängig von einer genetischen Prädisposition auftreten und therapeutisch beeinflusst werden können. Keloide hingegen neigen aufgrund einer genetischen Vorbelastung zu Rezidiven³⁹.

2.3 Allgemeine Narbentherapie

2.3.1 Historische Entwicklung

Bereits seitdem die Menschen Feuer machen konnten, gab es Verbrennungen und Verbrühungen. Im Folgenden wird die historische Entwicklung der Therapie der Verbrennungsnarben erläutert. Dabei werden konservative und operative Maßnahmen getrennt betrachtet.

Im 16. Jahrhundert wurde bereits die Kompression genutzt, um der Entstehung großer hochstehender Narbenareale entgegen zu wirken. In diesem Rahmen wurden Narben fest abgebunden, um eine lokale Kompression zu erreichen⁴⁰.

Wundaufgaben aus Kampfer- oder Opiumauszügen oder anderen pflanzlichen Extrakten wurden zur Linderung von Juckreiz und Rötung der Areale aufgetragen.

Im 17. Jahrhundert wurden neben Auftragen von Ölen und Extrakten die manuelle Therapie mit Dehnung und Massagen zur Verbesserung hypertropher Narben angewandt⁴¹. 1835 wurde beobachtet, dass eine kontinuierliche Kompression auf weichen Tumoren zum Abflachen des Gewebes führt. Daraufhin wurde eine gerichtete Kompression erfolgreich an einer großen Narbe erprobt. Ab dieser Zeit wurde die Kompressionstherapie ein sehr wichtiger Bestandteil in der Narbentherapie⁴⁰. Die Verwendung von festen Binden zur Kompression war anfangs jedoch eine sehr schmerzhafteste Prozedur und wurde von den betroffenen Patienten nur kurzzeitig toleriert.

Im Jahre 1860 wurden erstmals elastische Binden eingesetzt. Mit dieser Maßnahme war die Kompressionstherapie kein schmerzhaftes Verfahren mehr und wurde von den Patienten auch auf Dauer akzeptiert. Parallel zu der dauerhaften Kompression wurde die elastische Zuggurtung besonders im Bereich der Extremitäten etabliert. Mit Gründung des Verbrennungszentrums 1966 in Galveston/Texas konnten weitere Beobachtungen bei Kindern mit Verbrennungen angestellt werden. Es zeigte sich zum Beispiel, dass es trotz Kompression vor allem im Bereich der Gliedmaßen und am Hals zu Kontrakturen kommt. Aus diesem Grund entwickelte man orthoplastische Schienen, welche die Gelenkbereiche insbesondere nachts in Streckung stabilisieren sollten. Darauf aufbauend entstanden die Vorläufer der sogenannten Quengelschienen, welche die Hände in der richtigen Position halten sollten und somit Kontrakturen vorbeugten. Die erste Kortisoninjektion wurde 1950 mit dem Effekt, die Haut auszudünnen, vorgenommen⁴². Darauf aufbauend wurden weitere Injektionen durchgeführt, wobei ebenso dadurch Nebenwirkungen wie Cushing-Syndrom, Teleangiektasien Gewebeatrophien und Hypopigmentierungen beschrieben wurden. Bei adäquater Dosierung wurde die intraläsionale Injektion im Verlauf zu einer Standardanwendung bei der Narbentherapie⁴³. Etwa 10 Jahre später kam zu den Kompressionsanzügen die Auflage von Silikon hinzu⁴⁴.

Parallel zur konservativen Narbentherapie entwickelte sich auch die chirurgische Therapie.

Im 17. Jahrhundert wurden Kontrakturen an Händen von Fabry of Hilden operativ mittels Exzision gelöst und postoperativ mittels Metallschienen in Position gehalten⁴¹. Ergänzend dazu wurden nach und nach Verschiebeplastiken von Hautlappen vorgenommen, nachdem eine Narbe exzidiert wurde⁴⁵. Ab Mitte des 19. Jahrhunderts verwendete man Vollhauttransplantate zur Wunddeckung. Erstmals wurde dies zur Rekonstruktion eines Augenlides gebraucht. Neben der Narbenexzision entwickelte sich auch die Narbenplastik, wie beispielsweise die Z-Plastik, die ebenfalls zuerst am Augenlid vorgenommen wurde⁴¹. Darüber hinaus gab es weitere Entwicklungen in der Wunddeckung. Es wurden freie Hautlappenplastiken oder Expanderimplantationen mit nachfolgender Narbenexzision und Sekundärnaht durchgeführt⁴⁶.

Während des stetigen Fortschrittes der konservativen als auch der chirurgischen Narbentherapie zeigte sich, dass eine Monotherapie nicht zum gewünschten Therapieerfolg führte, sondern letztlich erst die Kombination konservativer und operativer Maßnahmen⁴⁰.

Zu den bekannten chirurgischen und konservativen Maßnahmen wurde in den 1980er Jahren begonnen, die Lasertechnik zur Behandlung hypertropher Narben einzusetzen. Therapieerfolge hinsichtlich der Hyperpigmentation und Rötung von Narben wurden mit einem gepulsten Farbstofflaser erzielt. Der CO₂-Laser wurden bei Aknenarben zur Strukturverbesserung eingesetzt, bedurfte jedoch zu dieser Zeit noch Änderungen in der Anwendung.

Als Alternative zur Lasertherapie wurde die perkutane Kollageninduktion („Needling“) ab 1997 eingeführt, durch die eine Kollagenneogenese der Dermis erzielt wird⁴⁷. Als reguläre Narbentherapie wurde dann das Needling 2010 veröffentlicht⁴⁸.

Die weitere Entwicklung der Lasertherapie war rasant. Ein weiterer Meilenstein konnte dann 2004 mit Einführung des fraktionierten CO₂-Lasers in der Behandlung der Narben gelegt werden^{37,49 50}.

2.3.2 Wundheilung und Narbe

Um unschönen Narben prinzipiell vorzubeugen, sollte nach einer Verletzung bzw. einem Unfall vor allem eine problemlose Wundheilung erreicht werden. Infektionen sollten vermieden werden, um einen komplikationslosen primären Wundverschluss zu erhalten. Je nach Ausmaß muss die Wunde debridiert werden und z.B. mit alloplastischem Material gedeckt werden. Sind diese Maßnahmen aufgrund der Tiefe der Wunde nicht ausreichend, erfolgt gegebenenfalls die Wunddeckung mit Eigenhauttransplantat⁵¹. Sobald die Wunde bzw. die Transplantate eingeheilt sind, beginnt die Phase der Nachsorge. Primär ist es wichtig die Wunden mit fettreichen Salben zu cremen und auf ausreichenden Sonnenschutz zu achten, da es durch eine fehlende Pigmentierung und damit mangelnder UV-Barriere zu einem sofortigen Sonnenbrand kommen würde²². Narben nach Verbrennungen und Verbrühungen sind anfangs typischerweise deutlich gerötet, verdickt und verursachen Juckreiz⁵².

Zur Behandlung einer hypertrophen Narbe gibt es mehrere Parameter, die zur erfolgreichen Therapie beitragen. Im Vordergrund steht die Erhaltung der optimalen Funktion, sekundär auch des kosmetischen Ergebnisses¹⁶.

2.3.3 Kompression und Silikon

Die Kompressionstherapie ist ein wichtiges Standbein der Narbentherapie. Es hat sich bewährt, frühzeitig (etwa vier Wochen nach Wundverschluss) damit zu beginnen⁵³.

Um eine effiziente Kompression zu erreichen, ist eine Kompression der Klasse II anzustreben. Das bedeutet, dass der Druck, der auf die Narben wirken soll, zwischen 15-25mmHg liegt. Damit soll die Kapillardurchblutung gemindert werden, wodurch es zu einer verminderten Oxygenierung im Gewebe kommt. Daraus resultierend wird die Kollagensynthese verringert und die Narbe dadurch flacher⁵³. Gemäß der aktuellen Empfehlungen soll der Kompressionsanzug bis zu 23 Stunden am Tag getragen werden, um den maximalen Erfolg zu erreichen⁵⁴. Die Kompressionskleidung wird sobald wie möglich nach Wundverschluss angepasst und erfolgt am besten noch vor Entlassung des Patienten aus der stationären Behandlung. Getragen wird die Kompression solange Anzeichen einer Aktivität wie zum Beispiel Rötung und Verdickung der Narbe zu beobachten sind. Das dauert teilweise bis zu zwei Jahre und darüber hinaus. Die besten Effekte der Kompression werden mit individuell angepasster Kleidung erzielt⁵⁵. Erfahrungsgemäß muss der Anzug alle drei bis sechs Monate bei regelmäßigem Tragen erneuert werden, um aufgrund der Materialabnutzung und des Wachstums des Patienten die stetige Kompression an den betreffenden Stellen zu gewährleisten. Gerade bei Kindern ist es wichtig, die Kompressionskleidung kindgerecht zu gestalten. Besonders die Farbe und Gestaltung der Kleidung ist ausschlaggebend für die Compliance der jüngeren Patienten. Gemäß der Leitlinie zur Narbenbehandlung thermischer Verletzungen werden den Familien immer zwei Garnituren der Kompressionskleidung ausgegeben, sodass eine Garnitur täglich gewaschen werden kann¹⁷. Ergänzend zur Kompressionskleidung hat die Verwendung von Silikonauflagen oder Silikongel eine signifikante Besserung hypertropher Narben gezeigt⁵⁶. Die Wirkungsweise der Silikonauflagen ist noch nicht vollständig zu erklären. Es kann durch Luftdurchlässigkeit und Wasserundurchlässigkeit eine zusätzliche Wundabdeckung und folgende Hydratation erreicht werden. Die Hydratation wird indirekt durch die Verhinderung des Wasserverlustes erlangt⁵⁷. Dadurch werden die Narben weicher und beweglicher. Die Kombination beider Therapien reduziert die Rötung sowie Dicke und verbessert die Rigidität der Narben.



Abb.11: Kompressionsshirt



Abb.12: Kompressionshandschuh

2.3.4 Physiotherapie, Narbenmassage

Unabdingbar für die Nachbehandlung der Narben nach thermischer Verletzung, insbesondere die Extremitäten betreffend, ist die manuelle Physiotherapie.

Die Patienten werden auch altersentsprechend angeleitet, Eigendehnungsübungen sowie aktive Bewegungen durchzuführen. Besonders in der Anfangsphase sind jedoch die regelmäßig durchzuführenden passiven Anwendungen erforderlich. An den stabilen Narben wird nach Möglichkeit mit Narbenmassage begonnen. Durch die Narbenmassage kommt es erwiesenermaßen zur Minderung der Rigidität und infolgedessen zu einer Verbesserung der Beweglichkeit im betroffenen Bereich. Linderung der Schmerzen und des Juckreizes werden ebenso beschrieben⁵⁸.

Je nach Phase der Narbenentwicklung wird die Narbenmassage in ihrer Intensität angepasst. Bei der frischen Narbe zielt die Massage, mit leichter Intensität, auf den gerichteten Abtransport von Lymphe und Stoffwechselprodukten ab. Durch gerichtetes mechanisches Ausstreichen wird die Durchblutung gefördert und der Lymphabfluss angeregt. Hierdurch verkleinert sich das interstitielle Gewebe und somit die Diffusionswege für Blut und Sauerstoff⁵⁹. Bei der abgeheilten Narbe hingegen stehen die festen Gewebeschichten im Vordergrund, die voneinander gelöst werden sollen. Ziel der intensiveren, zum Teil schmerzhaften Massage ist es, die festen Kollagenbündel untereinander zu lösen, um eine höhere Beweglichkeit der einzelnen Gewebeschichten zu erreichen^{10,58,60}.

Die Physiotherapie ist sowohl in der akuten Phase als auch in der Rehabilitationsphase ein bedeutender Bestandteil in der Narbentherapie. Allerdings erfordert es insbesondere bei Kindern eine große Compliance und muss deshalb zum Therapieerfolg ganz individuell gestaltet werden.

2.3.5 Intraläsionale Injektionen

Trotz ausreichender manueller Therapie und regelmäßiger Kompression gibt es eine Reihe von Narben, bei denen diese Maßnahmen allein nicht mehr zur Verbesserung des Befundes ausreichen. Eine weitere Möglichkeit der Therapie sind intraläsionale Medikamenteninjektionen. Am häufigsten werden dazu Kortikosteroide, wie beispielsweise das Triamcinolon benutzt. Kortikosteroide hemmen die Entzündung im Rahmen der Wundheilung und verhindern die Proliferation der Fibroblasten und somit die weitere Kollagensynthese⁶¹. Dies hat sich vor allem bei frischen Narben bewährt. Triamcinolon wird dabei verdünnt in die Narbe injiziert. Dazu sollte die Injektion streng intraläsional und dermal erfolgen um eine Atrophie der Subkutis zu vermeiden⁶². Ein Abblassen der Narbe während der Injektion zeigt an, dass ausreichend Medikament verabreicht wurde. Da die Injektion selbst schmerzhaft ist, ist auch diese Form der Therapie besonders bei jüngeren Kindern individuell zu planen und gegebenenfalls in Kombination mit einem anderen Therapieverfahren in Vollnarkose durchzuführen.

Kombiniert mit der Injektion von 5-Fluorouracil (5-FU) als Mittel gegen Zellproliferation zeigte die intraläsionale Medikamenteninjektion mehr Erfolge und Effizienz bei hypertrophen Narben^{61,63}. 5-Fluorouracil ist ein Pyrimidin-Analogon mit antimetabolischer Aktivität, welches direkt die Fibroblastenaktivität hemmt. Bei lokaler, intraläsionaler Anwendung zeigt 5-FU, welches normalerweise als Chemotherapeutikum eingesetzt wird, keine systemischen Wirkungen und Nebenwirkungen⁶². Da 5-FU dennoch vorrangig als Chemotherapeutikum eingesetzt wird, wird es bei Kindern eher zurückhaltend verwendet.

Bisher wenig erforscht, aber mit bereits nachgewiesenen Erfolgen, ist die Hyaluronsäureinjektion der Narben. Hyaluronsäure spielt eine wichtige Rolle in der Wundheilung. Sie gehört wie Kollagen zur extrazellulären Matrix. Im Rahmen der Wundheilung wird sowohl die Angiogenese als auch die Proliferation der Keratinozyten durch Hyaluron angeregt. Histologisch ließ sich nachweisen, dass in hypertrophen Narben kaum Hyaluronsäure zu finden ist⁶⁴. Nach Injektion von Hyaluronsäure konnte gezeigt werden, dass das Narbengewebe durch die verbesserte Angiogenese und vermehrter Einwanderung der Keratinozyten der normalen Haut ähnlicher ist und die Narbe selbst weniger hypertroph erscheint. Der Einsatz bei Verbrennungsnarben jedoch ist aktuell zu wenig untersucht und bedarf noch weiterer Studien⁶⁵.

Ebenso gibt es die Möglichkeit Bleomycin als zytotoxisches Antibiotikum zu injizieren. Bleomycin hemmt den Faktor TGF- β und damit die weitere Kollagensynthese. Zudem kann es direkt eine Apoptose von Zellen im Gewebe auslösen⁶⁶.

Botox wird aufgrund der neurotoxischen Wirkung zur Unterspritzung von Hautfältchen genutzt. Botulinumtoxin kann zum einen die Muskelspannung hemmen, zum anderen Einfluss auf den Zellzyklus der Fibroblasten nehmen, deren Proliferation hemmen und damit die Bildung hypertropher Narben unterbinden. Limitierend ist jedoch die Wirkdauer von Botox. In Zusammenschau der Effekte, könnten durch Botox therapeutisch noch weitere Fortschritte erreicht werden. Insbesondere die Kombination mit Triamcinolon könnte einen synergistischen Effekt auf die Fibroblastensuppression erzielen. Allerdings fehlen zur sicheren klinischen Verwendung auch hier weitere Untersuchungen⁶⁷.

Sowohl die Injektion von 5-FU, Bleomycin und Hyaluron wurde bisher in der Kinderchirurgie Stuttgart zur Narbentherapie nicht angewandt.

2.3.6 Kryotherapie

Die Kryotherapie kann im Zusammenhang mit hypertrophen Narben sowohl äußerlich als intraläsional angewendet werden. In diesem Verfahren wird flüssiger Stickstoff genutzt. Bei der äußeren Anwendung wird die Narbe kurz hintereinander eingesprüht oder mit direktem Kontakt auf der Narbe vereist. Dadurch wird das Gewebe kälteinduziert geschädigt und geht zu Grunde. Intraläsionale Applikation von Stickstoff geschieht wie bei der Medikamenteninjektion über eine Nadel. Die Wirkung betrifft nur das injizierte Gewebe ohne Umgebungsschaden. Gefrierdauer sind fünf bis zehn Sekunden. Die Intervention kann unter Umständen in Lokalanästhesie durchgeführt werden^{62,68}. Bisher gibt es jedoch im Olgahospital diesbezüglich noch keine Erfahrungen mit der Kryotherapie bei Narben.

2.3.7 Needling

Als Needling wird die perkutane Kollageninduktion bezeichnet. Dabei wird mit einer Rolle, an der zahlreiche ca. zwei bis drei Millimeter lange Nadeln sind, mit Druck über die betroffenen Areale gefahren² (s. Abb. 13). Dieses Verfahren wurde erstmalig 2010 veröffentlicht. Der Roller wird in alle Richtungen (horizontal, vertikal, diagonal) auf der Narbe verwendet. Die Nadeln sind spitz zulaufend, um eine epidermale Destruktion zu vermeiden⁴⁸. Dadurch entstehen mikrodermale Läsionen mit kleinen Blutungen. Durch die Läsionen werden Wachstumsfaktoren generiert und die Regeneration der Haut von der Dermis ausgehend stimuliert. Dieser Vorgang induziert eine kontrollierte Kollagensynthese. Durch das Needling, was ebenso eine schmerzhafteste Prozedur ist, kommt es erwiesenermaßen zu einer Reduktion der Spannung und eine Erhöhung der Elastizität⁶⁹.



Abb.13: Needling

2.3.8 Plastische Rekonstruktionen bei Narben

Trotz optimaler chirurgischer Erstversorgung und rehabilitativer Maßnahmen sind insbesondere bei tiefen thermischen Verletzungen Narbenkorrekturen unabdingbar, um Kontrakturen zu beheben und Bewegungseinschränkungen so zu vermeiden⁷⁰. Vor plastischen Korrekturen sollten zunächst alle konservativen Maßnahmen

ausgeschöpft werden. Die Korrekturen müssen gut geplant sein und werden durchschnittlich nach zwei Jahren durchgeführt. Die Korrektur ist abhängig von Ausmaß und Lokalisation bzw. Kontraktur der Narbe. Frühzeitige Korrekturen müssen bei Kontrakturen mit funktionellen Einschränkungen durchgeführt werden. Beispiele sind Subluxationen der Fingergelenke durch dorsale Narbenzüge an der Hand, fehlender Lidschluss durch Narbenzüge, eine sternomentale Kontraktur oder eine Mikrostomie. In diesen Fällen kann ein Ausreifen der Narben aus funktionellen Gründen nicht abgewartet werden.

Prinzipiell können kleine Narben exzidiert und primär verschlossen werden. Bei großen Narben gilt es die Narben zu inzidieren statt zu exzidieren⁷¹. Dies kann häufig durch eine Z- oder V-Y- Plastik erreicht werden. Durch diese Techniken wird der Narbenzug gelöst und dadurch die Narbenkontraktur behoben. Je nach Ausdehnung der Narbe können die Plastiken kombiniert werden (s.Abb.14 und 15).



Abb.14: Narbenkorrekturen der Hand



Abb.15: Kombinierte Narbenplastiken

Ausgedehnte Narben können auch in mehreren Schritten teilrezeidiert werden, wobei zwischen den einzelnen Operationen mehrere Monate liegen sollten, um die Spannung auf den Wunden zu vermeiden². Weitere Möglichkeiten Defekte zu decken bzw. Narbenkorrekturen vorzunehmen, gelingen mit Lappenplastiken. Lokale Verschiebelappen und Rotationslappen sowie Fernlappen kommen dabei zum Einsatz.

Bei Exzisionen großer Narben oder Inzision großer Narbenzüge entstehen oft größere Defekte, die mit einem Vollhauttransplantat gedeckt werden müssen⁷². Bei Entfernung großer Narbenplatten mit entsprechend großem Narbenrelease hat sich seit einigen Jahren Integra® als geeigneten Dermisersatz bewährt (s.Abb.16). Integra® besteht aus zwei Schichten. Die dermale Schicht wird aus Rinderkollagen und Anteilen von Haifischknorpeln hergestellt. Die epidermale Lage hingegen besteht aus dünnem Silikon. Die dermale Schicht stellt ein Grundgerüst für die neodermale Formation dar. Fibroblasten können hier einwandern und die Neoangiogenese anregen. Dieser Prozess dauert etwa zwei bis vier Wochen oder länger. Die Neodermis nimmt im Verlauf eine typisch orangefarbene Farbe an. Der Vorgang selbst kann durch die Silikonschicht beobachtet werden. Bei abgeschlossener Vaskularisation, nach drei bis sechs Wochen, wird die obere Silikonschicht vorsichtig entfernt. Die Neodermis wird dann mit Spalthaut gedeckt⁷³.

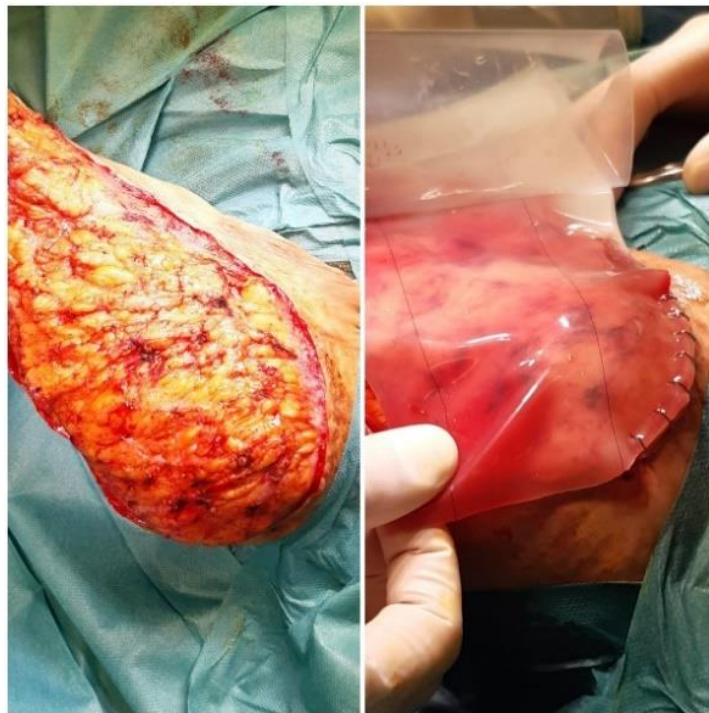


Abb.16: Narbenrelease links, Dermisersatz mit Integra® rechts

Neue Materialien für den Dermisersatz gibt es mittlerweile unter anderem auch komplett synthetisch hergestellt wie z.B. NovoSorb® BTM (Fa. Polymedics). In diesem Fall besteht das Material aus Polyurethan. Vorteil des synthetischen Materials ist, dass kein Nährboden für Bakterien durch den Dermisersatz geschaffen wird⁷⁴. Die Verwendung ist ähnlich dem Dermisersatzverfahren mit Integra®. Nach

Narbenrelease wird die BTM (Biodegradable Temporising Matrix) auf die Wunde aufgetragen. Nach außen hin wird die Wunde durch eine Versiegelungsmembran abgedichtet, um die Feuchtigkeit in der Wunde zu halten⁷⁴. Unter regelmäßiger Wundkontrolle wird die oberste Schicht zwei bis drei Wochen auf der Wunde belassen. Nach Integration des Materials in die Wunde und sichtbarer Verfärbung (s.Abb.17), wird die Haftschrift abgelöst und die Neodermis mit Spalthaut gedeckt⁷⁵.



Abb.17: BTM-Dermisersatz kurz vor Transplantation

Neben Dermisersatzverfahren gibt es außerdem die Möglichkeit, Narben nach Dehnung der gesunden Haut mittels Expander zu exzidieren und nachfolgend durch einen Verschiebelappen zu rekonstruieren. Der Expander wird über mehrere Wochen stetig gefüllt, bis ein ausreichend großer Hautlappen entstanden ist. Dieser kann dann in einer zweiten Operation so eingenäht werden, dass das betroffene Narbenareal exzidiert werden kann (s.Abb.18).

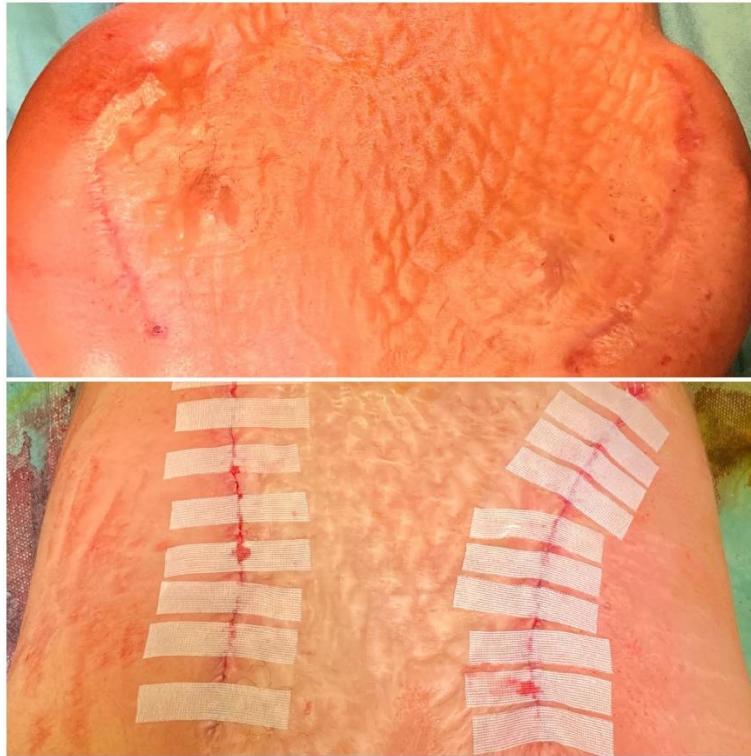


Abb.18: Oben: Expanderimplantation, Unten: nach Expanderexplantation und Narbenkorrektur

Eine weitere Möglichkeit zur Behandlung der Narben ist das Unterspritzen von bearbeitetem Fett unter die Narben, um die Konturen der Narbe sowie die Rigidität zu modulieren. Für diese Technik wird in Vollnarkose subkutanes Fett von der Oberschenkelregion oder vom Körperstamm entnommen und dann über multiple Einstiche unter die Narbenplatte gespritzt. Untersuchungen haben gezeigt, dass es dadurch ebenso zu Neoangiogenese und Neuordnung der Kollagenfasern kommt und die Narbe somit geschmeidiger und folglich beweglicher wird⁷⁶. Bisher gibt es in der kinderchirurgischen Klinik im Olgahospital keine Erfahrungen mit diesem Verfahren.

3 DIE LASERTHERAPIE

3.1 Grundlagen der Lasertherapie

Laser ist ein Akronym und bedeutet L=Light A=Amplification by S=Stimulated E=Emission of R=Radiation.

Mit dem CO₂- und Argonlaser begann im Jahre 1983 die Lasertherapie hypertropher Narben. Zu diesem Zeitpunkt zeigten sich jedoch unter anderem wegen der Schädigung des umgebenden Gewebes häufig Komplikationen mit offenen Wunden und kaum veränderten Befunden. Erst mit Einführung des gepulsten Lasers konnte eine gezielte Therapie hypertropher Narben erreicht werden und führte zu zufriedenstellenden Ergebnissen³⁷.

Die eingesetzte Laserstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von 100nm bis 10600nm. Im medizinischen Bereich werden all diese Laserwellenlängen ausgenutzt³⁷. Bei der Lasertherapie basiert das Wirkprinzip auf der selektiven Photothermolyse. Durch die Laserenergie werden Wechselwirkungen mit dem Gewebe provoziert, wodurch Zellen entweder zerstört oder verändert werden. Die Zielkomponenten der Haut sind das Hämoglobin, das Melanin sowie intra- und extrazelluläres Wasser⁴⁹. Die Wellenlänge des Laserlichts, die Pulslänge und Pulsfrequenz beeinflussen die Laserwirkung auf das Gewebe und dessen Umgebung⁷⁷. Mit dem Modus der kontinuierlichen oder gepulsten Strahlung werden die Expositionsdauer der Strahlung bestimmt³⁷. Die Lasertherapie beeinflusst verschiedene Faktoren der Narbe. Dazu zählen die Dicke, die Rigidität oder die Rötung der Narbe⁵⁰.

Im Jahre 2004 sind fraktionierte Laser auf den Markt gekommen, wodurch eine neue Möglichkeit geschaffen wurde, das Narbengewebe zu remodellieren. Bei der fraktionierten Lasertherapie wird die Laserenergie thermisch so genutzt, dass in der Haut viele kleine Hitzeverletzungen verursacht werden und sich die dermalen Strukturen neu ordnen können. Umgebendes Gewebe wird nicht beeinflusst bzw. geschädigt⁴⁹.

Mittlerweile etablieren sich die Laser zur Therapie von Narben und Kontrakturen⁵⁰. Differenziert werden die fraktionierten Laser in ablativ und nicht-ablativ. Dabei liegt der Unterschied beider Laserarten in der Wellenlänge und der thermischen Energie, die aufgebracht wird. Beim nicht-ablativen Laser wird mit einer Temperatur von 50-70°C gearbeitet, woraufhin die Proteine des Kollagens der Haut komplett denaturieren und dadurch zerstört werden. Aufgrund der Wellenlänge werden die Strahlen entweder vom Hämoglobin (PDL) oder auch vom Melanin (NdYAG-Laser) absorbiert und es kommt zum Untergang dieser Zielkomponenten.

Der ablative Laser arbeitet mit einer Temperatur von 100°C, wodurch das betroffene Gewebe verdampft wird. Zielkomponente ist dabei das intra- und extrazelluläre Wasser. Auch hierbei wird das gesunde Gewebe nicht involviert⁴⁹.

3.2 Nicht-ablativer Laser

Zu den nicht-ablativen Lasern zählen Laser mit einer Wellenlänge zwischen 585nm und 1450nm. Hier sind aufgrund unseres Patientenkollektivs der Neodym-YAG (NdYAG)- und der Pulsed-Dyed-Laser (PDL) zu nennen. Zielkomponenten dieser Lasertypen sind Gefäße und Pigmentzellen, die in den oberflächigen Hautschichten

lokalisiert sind. Die Laserenergie wird absorbiert und dadurch in thermische Energie umgewandelt. Daraus resultiert die Koagulationsnekrose und es folgt die Reduktion der Rötung und Pigmentierung des Narbengewebes^{78,79}. Ebenso kann eine oberflächliche Texturverbesserung durch die Abstoßung des koagulierten Gewebes über die Epidermis erreicht werden^{37,80}.

Der PDL, der mit einer Wellenlänge von 585-595nm arbeitet, schädigt kleine Kapillaren und reduziert somit die Rötung. Auch die Reduktion von vorhandenen Ödemen wird diskutiert. Die Eindringtiefe des PDL liegt zwischen 0,4-1,2mm⁸¹. Spezielle Zielkomponente des PDL ist das oxygenierte Hämoglobin, welches Wellenlängen zwischen 542-577nm absorbiert. Durch diese Absorption entsteht eine Überhitzung, woraufhin die Kapillaren verödet werden und dann eine Nekrose entsteht. In diesem nun hypoxischem Gewebe werden zum einen Faktoren für die Bildung von neuen Kollagen ausgeschüttet, zum anderen werden bestehende Kollagenfasern denaturiert. Durch diese zwei Effekte kommt es neben der Reduktion der Rötung auch zum Remodelling und Realignment der kollagenen Fasern. Wie der PDL den Juckreiz reduziert, ist bisher nicht im Detail geklärt. Es wird derzeit die Reduktion der Mastzellen mit nachfolgend verminderter Histaminausschüttung diskutiert⁸². Sieben bis zehn Tage nach Behandlung mittels PDL kann eine zusätzliche Rötung sowie Blasenbildung und Änderung der Pigmentierung entstehen⁸³.

Die üblichen Einstellungen für den PDL ist bei einem 7mm Handstück ein Energiefluss von 5-8J/cm², bei dem 10mm Handstück zwischen 4-5J/cm². Die Energie ist auf das Ansprechen der Therapie ganz individuell zu prüfen. Die Energie kann um 0,5J/cm² in einer folgenden Lasersitzung gesteigert werden. Je nach Patientenkontext kann die Laserbehandlung in Lokalanästhesie oder bei Kindern in Vollnarkose angewendet werden⁸².

3.3 Ablative Laser

Der ablativ Laser ergänzt seit 2007 die Lasertherapie hypertropher Narben⁵⁰. Dieser Lasertyp wirkt mit einer Wellenlänge im weiten Infrarotbereich. Diese Lichtenergie wird von dem intrazellulären Wasser absorbiert, welches folglich durch die Überhitzung verdampft. Durch die thermische Energie, die dabei freigesetzt wird, denaturieren Proteine und die bestehende Matrix wird zerstört. Gleichzeitig werden inflammatorische Signale für das Remodelling des Kollagens ausgeschüttet. Mit der Neubildung des Kollagens verändert sich die Hauttextur. Zu den ablativen Lasern zählen unter anderem der Erbium:YAG- und der CO₂-Laser⁷⁸.

Der CO₂-Laser arbeitet mit einer Wellenlänge von 10600nm. Bei diesem Laser führen zylinderförmige vertikale Mikrosäulendefekte zum Remodelling des Narbengewebes. Dabei wird das umgebende Gewebe kaum beeinträchtigt. Aufgrund der größeren Wellenlänge und dadurch hohen Energie in der Tiefe, hat der CO₂-Laser im Vergleich zum Erb:YAG Laser (2940nm) eine größere Koagulationszone⁸⁴.

Beim fraktionierten CO₂-Laser gibt es unterschiedliche Modi, die standardmäßig eingesetzt werden. Der Ultrapulse CO₂-Laser, (Lumenis10600nm) wurde im Rahmen dieser Studie eingesetzt. Zur Beeinflussung von Narbengewebe in der Tiefe werden der DeepFX-Modus und ScaarFX-Modus eingesetzt. Beim DeepFX wird eine Tiefe von 1,5mm bei einer maximalen Energie von 50mJ erreicht. Der ScaarFX-Modus kann eine maximale Energie von 150mJ eine Penetration von 4-5mm erreichen⁸¹. Die Deckung kann unterschiedlich gewählt werden, meist zwischen 1-5% Deckung. Zur Glättung der oberflächlichen Areale bei Texturstörungen der Haut kann der ActiveFX Modus eingesetzt werden. Die Glättung der Oberfläche wird durch zehnfach breitere Impulse in diesem Modus im Vergleich zum DeepFX erreicht. Auch hier kann eine unterschiedliche Deckung gewählt werden⁸⁵.

Bei punktförmigen Blutungen in der Narbe während der Lasertherapie ist davon auszugehen, dass das Ausmaß in der Tiefe erreicht ist und somit keine höhere Energie erforderlich ist. Allerdings ist dieses diagnostische Mittel noch nicht ausreichend untersucht und Studien bezüglich der Eindringtiefe in der Lasertherapie sind weiterhin notwendig. In den ersten fünf bis sieben Tagen kann es im Rahmen des Remodellings zur Rötung, Ödemen, Schmerzen oder auch in seltensten Fällen zu einer Infektion kommen⁸⁶.



Abb.19: DeepFX links und ActiveFX rechts

Indikationen für eine Behandlung mittels CO₂-Laser sind insbesondere dicke, steife und stabile Narben. Bei der tiefen Photothermolyse kann durch die Neuordnung des Gewebes eine signifikante Besserung der Elastizität und folgende Besserung der Bewegung erreicht werden. Intervalle für die Laserung mit fraktionierten CO₂-Laser sind zwei bis drei Monate⁸⁷. Es kann solange behandelt werden bis eine ausreichende Besserung eingetreten ist⁸⁸.

Der Erbium:YAG-Laser arbeitet mit einer Wellenlänge von 2940nm. In diesem Wellenlängenbereich wird die meiste Energie über das Gewebewasser absorbiert und das Narbengewebe dadurch zerstört. Bei diesem Laser sind bei oberflächigeren Narben nur niedere Energiemengen erforderlich, sodass in diesem Wellenlängenbereich bzw. bei flacheren Narben der Erb-YAG-Laser dem CO₂-Laser gegenüber effizienter ist⁸⁹.

Aufgrund dieser unterschiedlichen Vorteile beider Laser ist individuell abzuschätzen, welcher Laser zum Einsatz kommt. Bisher wird der CO₂-Laser dem Erbium:YAG-Laser größtenteils vorgezogen.

4 ZIEL DER ARBEIT

Lasertherapien bei Narben nach thermischer Verletzung haben sich in der Erwachsenenmedizin bereits etabliert. Bisher gibt es jedoch wenige Erhebungen, die zeigen, dass die Lasertherapie ebenfalls bei Kindern mit Narben nach Verbrühungen und Verbrennungen mit Erfolg durchzuführen sind. Ferner gibt es kaum Untersuchungen zu Laserbehandlungen bei Kindern, die eine Verbesserung der Narbensituation objektiv nachweisen.

Ziel der Arbeit war es festzustellen, welche Veränderungen der Narben nach Lasertherapie zu beobachten sind. Dazu wurde anhand des gesamten Patientenkollektivs eine Auswertung der betroffenen Körperoberfläche, Unfallzeitpunkt und bereits erfolgte konservativen Maßnahmen durchgeführt. Vor und nach der Lasertherapie wurden die Narben subjektiv und objektiv bewertet. Dies bezog sich sowohl auf die Narben selbst als auch die Veränderungen im Vergleich zur gesunden Haut.

Einschlusskriterien für die in der Studie erfassten Patienten waren symptomatische Narben nach thermischen Verletzungen, welche mittels Lasertherapie unabhängig der Lasermethode im Rahmen der Nachsorge in der Kinderchirurgischen Klinik des Olgahospitals behandelt wurden.

Ausschlusskriterien waren Lasertherapien, welche aufgrund anderer Grunderkrankungen erfolgten.

Folgende Fragen sollen mit dieser Arbeit beantwortet werden:

- 1) Ist nach Lasertherapie eine subjektive und objektive Verbesserung der Narbenhaut zu beobachten?
- 2) Ist die Narbe weicher bzw. die Elastizität nach Lasertherapie erhöht?
- 3) Kann eine Kontraktur durch Lasertherapie erfolgreich behandelt werden?
- 4) Wie hoch sind Patientenakzeptanz und Schmerzverlauf des Verfahrens?

5 MATERIAL UND METHODEN

Die Studie gliedert sich in drei Teile. Im ersten Teil wurden die objektiven Daten zusammengefasst: Ausdehnung der Verletzung, Beginn der Lasertherapie nach thermischer Verletzung, Alter der Patienten sowie die Anzahl der Lasertherapien. Mithilfe eines selbst erstellten Fragebogens sowie dem POSAS, VSS und SF-36 wurden für den zweiten Teil der Studie die subjektiven Einschätzungen der Patienten ausgewertet. Im dritten Teil wurden die Narben der Patienten mit einem speziellen Narbenmessgerät (DermaLab®, Cortex Technology) mit einem Elastizitätsmodul gemessen und ausgewertet, um die Ergebnisse nach Lasertherapien objektiv darzustellen.

5.1 Patientenkollektiv

Im Rahmen einer retrospektiven Erfassung wurden 78 gelaserte Patienten mit Narben nach thermischer Verletzung von 2012 bis 2021 erfasst. Dabei handelte es sich um Patienten im Alter von eins bis 26 Jahre. Für die retrospektive Bewertung wurden selbst erstellte Fragebögen an Patienten versandt. Von den 78 Patienten nahmen 15 bereits von vornherein nicht an der Studie teil. Die Distanz und Unerreichbarkeit der Patienten waren Gründe dafür.

Bei Planung der Lasertherapie in der Ambulanz wurde bereits eine Messung mit dem Elastizitätsmodul des DermaLab® durchgeführt, um einen Ausgangswert vor Beginn der Lasertherapie zu erhalten. Zugleich wurden die zu lasernden Narbenareale mit dem VSS und POSAS beurteilt. Nach weiteren Lasertherapien wurden die Patienten nach vier bis sechs Wochen in gleicher Art und Weise in der Ambulanz nachuntersucht. 42 Patientinnen und Patienten konnten für die Messung vor und nach einer Lasertherapie rekrutiert werden. Bei 21 Patient:innen konnte zusätzlich ein zweiter Messzyklus nach der zweiten Lasertherapie durchgeführt werden.

5.2 Laser

5.2.1 Operationstechnik/-ablauf

Aufgrund des Alters des Patienten, der Größe der Narben oder Kombinationen mit anderen operativen Maßnahmen, werden die Lasertherapien der Verbrennungsnarben in der Kinderchirurgie im Olgahospital in Allgemeinnarkose durchgeführt. Dazu wird zur CO₂-Laserung der UltraPulse® CO₂-Laser von Lumenis verwendet. Die PD-Laserung wird mit dem PDL von Cynosure (595nm) durchgeführt. Die Indikation zur Therapie mit dem Pulsed-Dyed-Laser (PDL) sind aktive deutlich gerötete, juckende Narben nach thermischer Verletzung. Zeitpunkt dieser Lasertherapie kann wenige Wochen bis Monate nach Wundverschluss sein. Die Einstellungen des PDL sind je nach Handstück 5-9J/cm², bei in der Regel 0,5ms Pulslänge.

Bei ausgereiften, dicken Narben wird der CO₂-Laser zur Glättung und Erhöhung der Elastizität der Narbe gewählt. Der Zeitpunkt ist frühestens sechs Monate nach Unfall. Je nach Ausprägung der Narbe wird mit dem DeepFX- Modus oder ScaarFX-Modus begonnen mit einer Energie von 50-80mJ/cm², 200-250Hz. Zur Glättung von Narbenarealen kann in gleicher Sitzung der ActiveFX Modus mit einer Energie von 40-50mJ/cm² und ab 100Hz eingesetzt werden.

Die zu lasernden Areale werden exakt geplant und präoperativ markiert. Nach Lagerung der Patient:innen erfolgt die Desinfektion der zu lasernden Areale. Auf den

Laserschutz der Patient:innen und der beteiligten Personen wird streng geachtet. Nach Einstellungen des Lasers wird die symptomatische Narbe behandelt. Dabei ist es zu vermeiden doppelte Laserapplikationen durchzuführen, um einen Umgebungsschaden zu vermeiden.



Abb.20: CO2-Laser mit Absaugung

5.2.2 Postinterventionelles Vorgehen

Bei der Farbstofflasertherapie ist postinterventionell keine spezielle Therapie erforderlich. Die Patienten sind bezüglich anfänglicher Pigmentierungsstörungen bzw. dunklere Hautveränderungen aufzuklären.

Bei ablativer Lasertherapie, wie bei der CO₂-Lasertherapie, ist auf eine ausreichende Hautpflege zu achten, um die Wundheilung zu unterstützen. Hierzu können unterschiedliche Cremes zur Wundheilung verwendet werden. Die Hautpflege wird unmittelbar nach der Lasertherapie begonnen und mehrfach täglich angewandt. Postinterventionell sind keine Schmerzen zu erwarten.

5.2.3 Nachuntersuchungszeitraum

Standardmäßig werden alle Patienten nach Lasertherapie vier bis sechs Wochen später in unserer Sprechstunde nachuntersucht. Intervalle zwischen den Lasersitzungen sind zehn bis zwölf Wochen.

Bei der klinischen Untersuchung im Rahmen der Sprechstunde wurde zunächst das Gesamtbild der Narbe hinsichtlich Rötung, Pigmentierung, Dicke und Oberflächenbeschaffenheit im Vergleich zur normalen Haut betrachtet. Des Weiteren werden die Narben nach Dehnbarkeit und Festigkeit untersucht. Dazu wurde der Vancouver Scar Scale (VSS) und POSAS bearbeitet und gegebenenfalls angepasst. Im Rahmen der Studie wurden die Patienten mittels eines Hautelastizitätsgerätes

(DermaLab®, Fa. Cortex) untersucht und die Elastizität der Narbe sowie der gesunden Haut bestimmt. Die Messungen wurden bei jeder Vorstellung bzw. bei jedem Laserzeitpunkt wiederholt, um Veränderungen der Narbenbeschaffenheit festzustellen.

5.3 Erhebungsinstrumente

5.3.1 Fragebogen

Der Fragebogen ist eine Kombination aus dem Vancouver Scar Scale, POSAS und dem SF-36. Ziel war es, einen Zusammenhang zwischen dem Therapieerfolg und der Lebensqualität darzustellen. Durch die Patienten bzw. Eltern wurden die Narbenentwicklung nach Lasertherapie evaluiert. Ebenso wurde eine Bewertung des Gesamtergebnisses und Wiederholungswunsch eruiert.

Zur Auswertung der Eigenschaften sowohl von Rötungen, Dehnbarkeit als auch von Dicke und Juckreiz wurde eine Ordinalskala zur Bewertung angelegt. Die Kodierung entspricht den Werten 1=mehr, 2= keine Änderung, 3= weniger.

Der Fragebogen wurde von den Betroffenen bzw. deren Eltern einmalig ausgefüllt. Dies war unabhängig der Anzahl der vorausgegangenen Lasertherapien.

Weitere Angaben wie Ausmaß der Verletzung, Lasereinstellungen oder Intervalle zwischen den Lasertherapien wurden den Patientenakten entnommen.

5.3.2 Vancouver Scar Scale (VSS)

Seit 1990 wird der Vancouver Scar Scale (VSS) zur Beurteilung hypertropher Narben verwendet. Der Score enthält die vier Merkmale Pigmentierung, Gefäßzeichnung, Biogsamkeit und Narbendicke⁹⁰. Dazu gilt es den Unterschied der Narbe im Vergleich zur normalen Haut zu beurteilen. Der Normalzustand wird dabei mit der Zahl „0“ beurteilt.

Mit diesem Score gilt es die objektiven Parameter der Narbe zu ermitteln, subjektive Wahrnehmungen wie eine juckende Narbe, Schmerzen oder Sensibilitätsstörungen werden nicht erfasst¹⁰. Bei der Auswertung des Scores werden die Punkte zusammengezählt. Die maximale Punktzahl mit 13 beschreibt eine schlechte Narbe, 0 hingegen eine reizlose Narbe bzw. gesunde Haut (s.Abb.21).

Im Rahmen der Studie wurden die Narben vor Beginn der Lasertherapie als auch danach durch die Behandler mithilfe dieses Scores beurteilt.

Scar characteristic	Score
Vascularity	
Normal	0
Pink	1
Red	2
Purple	3
Pigmentation	
Normal	0
Hypopigmentation	1
Hyperpigmentation	2
Pliability	
Normal	0
Supple	1
Yielding	2
Firm	3
Ropes	4
Contracture	5
Height (mm)	
Flat	0
<2	1
2~5	2
>5	3
Total score	13

Abb.21: Vancouver Scar Scale ⁹¹

5.3.3 POSAS

Ergänzend zum Vancouver Scar Scale wurde 2004 der *Patienten and Observer Scar Assessment Scale* (POSAS) entwickelt. Dabei gibt es zwei getrennte Fragebögen. Ein Teil ist von den Patient:innen bzw. deren Erziehungsberechtigten auszufüllen. Dieser Teil des Fragebogens enthält sowohl subjektive Kriterien, wie Schmerzen und Juckreiz, als auch die objektiven Kriterien wie Vaskularisation, Pigmentierung, Dicke und Rigidität.

Der andere Teil des Bogens wird von dem behandelnden Kliniker ausgefüllt und die objektiven Narbenmerkmale detaillierter evaluiert. Jeder Parameter kann auf einer numerischen Skala von eins bis zehn eingeschätzt werden, wobei zehn der schlechteste Befund ist⁹².

Die Kombination beider Fragebögen erlaubt eine weitere detaillierte Einschätzung der Narben und zeigt gegenüber dem VSS zusätzlich eingebundene subjektive Parameter, die zusammen ausschlaggebend für den Therapieerfolg sind.

5.3.4 SF-36

Die Bewertung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität hat sich in den letzten Jahren zunehmend in der Medizin etabliert. Damit ist eine Selbsteinschätzung der Patienten bezüglich mehrerer Qualitäten im Lebensbereich gemeint. Eines der Messinstrumente, welches am meisten verwendet wird, ist der SF-36 Health-Survey, der ursprünglich in den USA entwickelt wurde⁹³. Dieser Fragebogen enthält innerhalb der 36 Fragen zwei Hauptkomponenten, die körperliche und die psychische Skala, die

im Rahmen des Fragebogens in acht Subkomponenten eingearbeitet sind. Diese Subkomponenten stellen jeweils einen Teil der Lebensqualität dar (s.Tab.3).

Tab.3: Subskalen des SF-36

Subkomponenten des SF-36	
Körperliche Funktionsfähigkeit (KÖFU)	Gesundheitszustand bezüglich der körperlichen Aktivität
Körperliche Rollenfunktion (KÖRO)	Beeinflussung des Patienten durch den aktuellen Gesundheitszustand im Alltag
Schmerzen (SCHM)	Ausmaß der Schmerzen und Beeinträchtigung im Alltag
Allgemeine Gesundheitswahrnehmung	Wahrnehmung der eigenen Gesundheit
Vitalität (VITA)	Wahrnehmung der Situation von „voller Schwung“ bis zu „niedergeschlagen/entmutigt“
Soziale Funktionsfähigkeit (SOFU)	Beeinflussung der sozialen Aktivitäten aufgrund des Gesundheitszustandes
Emotionale Rollenfunktion (EMRO)	Ausmaß der Beeinträchtigung aufgrund seelischer Probleme im Alltag
Psychisches Wohlbefinden (PSYC)	Beeinflussung der psychischen Gesundheit

Zu der körperlichen Summenskala (KSK) gehören Komponenten wie die körperliche Funktionsfähigkeit (KÖFU), körperliche Rollenfunktion (KÖRO), Schmerz (SCHM) und die allgemeine Gesundheitswahrnehmung. Die übrigen Komponenten wie Vitalität (VITA), soziale Funktionsfähigkeit (SOFU), emotionale Rollenfunktion und psychisches Wohlbefinden (PSYC) bilden die Subskalen für die psychische Summenskala (PSK)⁹⁴.

Zur Auswertung des SF-36 wurden Skalen aus den einzelnen Parametern des Fragebogens gebildet. In der Statistik wird dabei von latenten Konstrukten gesprochen, welche durch einzelne Items ermittelt werden. Im Fall des SF-36-Fragebogens werden die körperliche Funktionsfähigkeit und Rollenfunktion, Schmerzen, Vitalität und die allgemeine Gesundheitswahrnehmung sowie die soziale Funktionsfähigkeit, emotionale Rollenfunktion und das psychische Wohlbefinden als latente Konstrukte verwendet. Eine Reliabilitätsanalyse ist beim SF-36 nicht nötig, da dieser bereits seit vielen Jahren Einsatz in der medizinischen Forschung findet und dadurch ausreichend erprobt ist. Aufgrund der einheitlichen Struktur bei der Auswertung wurde zur Verdeutlichung der Ergebnisse ein Summenscore genutzt. Die Auswertungen der Skalen werden so interpretiert, dass steigende Werte einen

besseren Gesundheitszustand anzeigen bzw. eine höhere Lebensqualität. Dann wurde ein Vergleichstest mit der deutschen Normpopulation mittels des Welch`s T-Test durchgeführt.

5.3.5 Narbenmessung mittels Hautelastizitätsanalysesystem (DermaLab®, Fa. Cortex)

Bei hypertrophen Narben sollen vor allem die Dicke und die Elastizität bewertet werden. DermaLab® ist ein Messgerät, welches fünf Eigenschaften der Haut ermitteln kann. Dazu zählen die Pigmentierung, die Hydratation Haut, den Wasserverlust über das Stratum corneum, den Talggehalt der Haut sowie die Elastizitätsbestimmung⁹⁵.

Zur Einschätzung der Biegsamkeit der Narbe hat sich die Messung der Elastizität bewährt. Für die Messung dieser Eigenschaft der Narbe wird eine adhäsive Unterdruckkammer auf das betroffene Hautareal geklebt und mittels Elevation und Retraktion die Messung ausgeführt⁹⁶.

Dabei wird zum einen der Elevationsdruck, welche die Haut benötigt, um diese 1,5mm anzuheben, gemessen. Danach wird die Zeit gemessen, welche die Haut braucht, sich in die Ausgangsposition zurückzuziehen. Die kleine Unterdruckkammer hat zwei Messpunkte. Dabei liegt der untere Messpunkt der Kammer 1mm über Hautniveau, der obere Messpunkt 2,5mm über Niveau. Damit ergibt sich die Strecke von 1,5mm. Die Messung selbst ergibt sich durch Infrarotveränderungen innerhalb der Kammer zwischen den Messpunkten⁹⁷. Der Durchmesser der Kammer ist 10mm. Der Quotient aus Elevation (MPa) und Retraktionszeit (ms) ergibt die Viskoelastizität. Die Retraktionszeit wird zuvor mit der für „normal“ genommen Retraktionszeit gesunder Haut (260ms) ins Verhältnis gesetzt.

$$VE = \frac{E}{R_{normalized}} \quad R_{normalized} = \frac{R}{260ms}$$

VE = Viskoelastizität
E = Elevationsdruck
R = Retraktionszeit

Bei jeder Messung muss immer die gleiche anfangs ausgewählte Narbenregion gewählt werden. Für ein valides Ergebnis sollen ebenso gleiche Voraussetzungen geschaffen werden. Damit ist gemeint, dass beispielsweise keine Bodylotion benutzt oder die Kompression mindestens eine Stunde vor der Messung beendet wird.

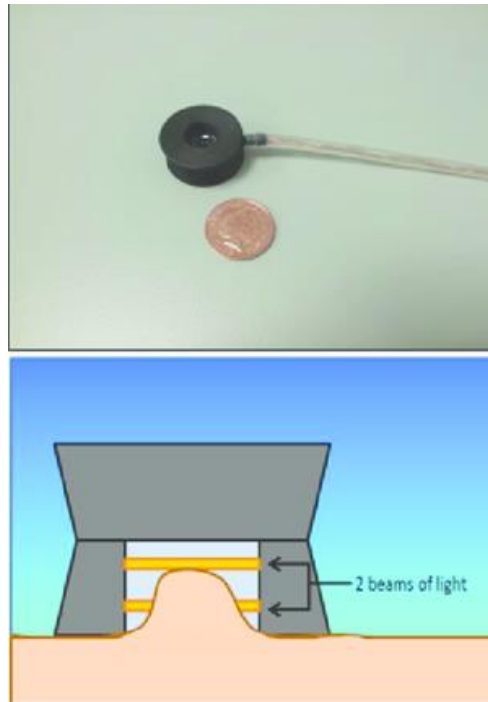


Abb.22: DermaLab® Elastizitätsmodul⁹⁸

Da die Messungen eine mechanische Stressreaktion der Haut hervorrufen kann, ist es empfohlen eine Mindestzeit zwischen den Messungen einzuhalten. Der Hersteller empfiehlt eine Pause von 30 bis 60 Minuten⁹⁵. Messungen mittels DermaLab® wurden im Rahmen der Studie zunächst vor Beginn der Lasertherapie und dann vier bis sechs Wochen danach durchgeführt. Die Regionen wurden vor und nach Lasertherapie mit einer Fotodokumentation festgehalten, um bei weiteren Messungen die gleiche Narbenstelle zu wählen. Die Messungen erfolgten sowohl an der Narbenregion als auch an einer Stelle gesunder Haut, die in unmittelbarer Nähe des Narbenareal liegt. So konnten nicht nur Vergleiche der Messungen der Narbe vor und nach Lasertherapie sondern auch zwischen der Elastizität gesunder Haut und der Narbe gezeigt werden. Bei der Messung der Narbenareale wurde besonderes Augenmerk auf die Retraktionszeiten der Haut gelegt. Je länger die Retraktionszeit desto elastischer ist die Haut⁹⁵. Es wurden über 150 Elastizitätsmessungen durchgeführt. Eine kurze Retraktionszeit zeigt dabei eine geringe Elastizität. Mit Zunahme der Retraktionszeit nimmt die Elastizität zu⁹⁶.

5.3.6 Statistische Analyse

Die untersuchten Scores wie VSS, POSAS, SF-36 und die allgemeinen Merkmale (Geschlecht, Alter, Körperoberfläche, Anzahl der Lasertherapien, die Elastizitätsmessungen) wurden zunächst quantitativ beschreibend dargestellt. Dafür wurde Minimum, Maximum, Mittelwert sowie Standardabweichung eingesetzt. Prüfung auf Normalverteilung erfolgte über den Kolmogorov-Smirnov-Test.

Um Stichproben zu beschreiben, werden deskriptivstatistische Maßzahlen verwendet, zu denen der Mittelwert und die Standardabweichung gehören. Der Mittelwert wird aus der Summe aller Werte einer Variable, dividiert durch die Anzahl aller Messwerte

errechnet⁹⁹. Die Standardabweichung zeigt die Streuung einzelner Messergebnisse. Beispielsweise zeigt eine kleine Standardabweichung an, dass die Messwerte nah am Mittelwert liegen. Eine hoher Wert lässt auf eine hohe Varianz der Ergebnisse schließen. Auswertungsverfahren, die im Rahmen dieser Forschung verwendet wurden, sind die Korrelation nach Pearson und Spearman, der Chi-Quadrat-Test sowie T-Test und Wilcoxon-Test bei verbundenen Stichproben. Zum Vergleich des Patientenkollektivs mit der Normstichprobe im Rahmen des SF-36 wurde der Welch`s T-Test angewandt.

Die Korrelation nach Pearson und Spearman wurde genutzt, um einen statistisch linearen Zusammenhang zwischen verschiedenen metrischen Variablen darzustellen. Relevant ist dabei der Korrelationskoeffizient r , welcher einen Wert zwischen -1 und 1 annehmen kann. Das bedeutet, dass eine -1 den negativsten und +1 den positivsten Zusammenhang zwischen zwei Variablen darstellt. Sowohl für die Pearson-Korrelation als auch für die Spearman-Korrelation gilt, dass bei einem positiven Wert ab $r > 0.5$ oder einem negativen Wert $r < -0.5$ von einem statistischen Zusammenhang ausgegangen werden kann¹⁰⁰.

Bei nominal und ordinal skalierten Skalen wurden zur Auswertung prozentuale und absolute Werte angegeben. Der Chi-Quadrat-Test wurde verwendet, um Variablen mit einer nominalen und ordinalen Skalierung auf Abhängigkeiten zu überprüfen. Dieser erfolgt über die Erstellung von Kreuztabellen. Bei einer geringen Anzahl an Häufigkeiten wurde der exakte Test nach Fisher verwendet.

Wichtig für die Interpretation der Ergebnisse der einzelnen Testverfahren ist die Signifikanz (p). Ein statistisch signifikantes Testergebnis liegt bei einem p -Wert $< 0,05$ vor¹⁰¹. Es wurde jeweils zweiseitig getestet. Das Signifikanzniveau war bei 5%. Für die Durchführung der statistischen Tests wurde das Programm SAS 9.4 (SAS Institute GmbH, Heidelberg) angewendet.

6 ERGEBNISSE

6.1 Allgemeine Angaben zum Patientenkollektiv

Insgesamt konnten 78 Patient:innen in die Studie mit aufgenommen werden. Von den 78 Teilnehmenden sind 31 männlich und 47 weiblich (s.Abb.23).

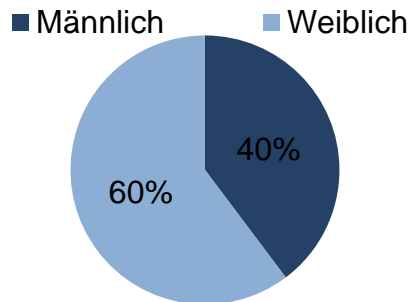


Abb.23: Geschlechterverteilung

57 der Patient:innen erhielten eine CO₂-Lasertherapie und 26 eine PD-Lasertherapie, fünf davon eine Kombination beider Lasertherapien.

Miteinbezogen wurde das Alter zum Unfallzeitpunkt und bei ersten Lasertherapie (s.Tab.4).

Tab.4: Alter der Patienten

n=78	Alter am Unfalltag [a]	Alter bei 1. Lasertherapie [a]
Minimum	0,25	0,5
Maximum	17	23
Mittelwert	4,6	7,8

Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt des Unfalls lag bei etwa 4 Jahren. Die erste Lasertherapie wurde im Schnitt im Alter von 8 Jahren durchgeführt.

Des Weiteren wurde der zeitliche Abstand zwischen dem Unfalltag und der ersten Lasertherapie erhoben. Ebenso die Anzahl der Lasertherapien und das Verletzungsausmaß nach thermischer Verletzung.

Das kürzeste Zeitintervall nach Unfall zum Beginn der Lasertherapie beträgt zwei Monate. Der größte Abstand des Lasertherapiebeginns liegt bei 19 Jahren nach thermischer Verletzung.

Es wurden maximal 11 Lasertherapien an einem Patienten vorgenommen. Im Durchschnitt wurden mehr als zwei Lasersitzungen durchgeführt.

Das Spektrum der verbrannten Körperoberfläche (KOF) der gelaserten Patienten erstreckt sich von 0,30% der KOF bis hin zum Maximum von 60% KOF. Der Mittelwert der verbrannten Körperoberfläche (KOF) der gelaserten Patienten lag bei etwa 16,5 % (s.Tab.5 und 6).

Tab.5: Zeitlicher Abstand Lasertherapie

n=78	Erste Lasertherapie [M]	Anzahl der Lasertherapien
Minimum	2	1
Maximum	228	11
Mittelwert	44,9	2,3

Tab.6: Ausmaß der thermischen Verletzung

n=78	Verbrannte Körperoberfläche [%]
Minimum	0,30
Maximum	60,00
Mittelwert	16,4

6.2 Narbenentwicklung, Patientenzufriedenheit

Zur subjektiven Beurteilung der Narbenentwicklung nach einer Laserbehandlung wurden die Narben der Patient:innen im Fragebogen anhand der Rötung, Dehnbarkeit, Dicke und Juckreiz bewertet. Die entsprechenden Kategorien und Antwortmöglichkeiten können im Anhang (Fragebogen) nachvollzogen werden.

53 der 78 behandelten Patient:innen haben den ausgegebenen Fragebogen beantwortet. Von 53 teilnehmenden Proband:innen bewerteten etwa die Hälfte die Rötung als abnehmend. Bei knapp 40% wurde die Narbe ohne Änderung bezüglich der Rötung eingeordnet. Die Dehnbarkeit der Narbe wurde von 37 der teilnehmenden Proband:innen als besser eingeschätzt, das entspricht knapp 70%. Dagegen wurde bei nur 12 Teilnehmer:innen subjektiv keine Änderung der Dehnbarkeit festgestellt. Fast 70% beurteilten die Narbe nach Lasertherapie als weniger dick und etwa 26% beschrieben die Narbe als gleich. Knapp zwei Drittel der Studienteilnehmer:innen gaben keine Änderung des Juckreizes nach Intervention an (Übersicht aller Ergebnisse s.Tab.7).

Tab.7: Bewertung Rötung, Dehnbarkeit, Dicke, Juckreiz nach Lasertherapie

n=53	Rötung	Dehnbarkeit	Dicke	Juckreiz
mehr	7,5%	69,81%	9,43%	3,77%
Keine Änderung	41%	22,64%	26,42%	60,38%
weniger	50,1%	7,55%	64,15%	35,85%

Bei fast 90% konnte keine Veränderung in der Pigmentierung der Haut nach CO₂-Laserung festgestellt werden (s.Tab.8).

Tab.8: Komplikationen nach Lasertherapie

n=53	Hypopigmentierung		Hyperpigmentierung		Offene Wunden	
	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein
Patient:innen	15,1%	84,9%	13,21%	86,79%	13,21%	86,8%

51 von 53 Patient:innen waren mit der Laserbehandlung zufrieden. Hiervon gaben 48 Patient:innen an, die Behandlung erneut durchführen zu lassen. Eine statistische Signifikanz zwischen Zufriedenheit und Wiederholungswunsch der Therapie liegt bei einem p-Wert > 0,05 (p=0,18) nicht vor (s.Tab.9).

Tab.9: Zufriedenheit, Wiederholung

N=53	Zufriedenheit		Wiederholung	
	Ja	Nein	Ja	Nein
Patient:innen	51	2	48	5

6.3 SF-36 Der Gesundheitsfragebogen zur Lebensqualität

Im Patientenkollektiv wird die körperliche Funktionsfähigkeit (KÖFU) mit einem Mittelwert von 94,5 bewertet, im Vergleich dazu liegt die Normstichprobe bei 82,2 (p=0,0001). Die körperliche Rollenfunktion (KÖRO) wurde mit einem Wert von 95,9 im Vergleich zur deutschen Normstichprobe (79,1) als weitaus besser eingeschätzt (p=0,0001). Auch in der Kategorie der körperlichen Schmerzen (KÖSZ) zeigt sich ein höherer Wert (90,8) in der Patientengruppe. Sowohl die Vitalität (VITA), die emotionale Rollenfunktion (EMRO) als auch das psychische Wohlbefinden (PSYC) wurde im Vergleich vom Kollektiv besser eingeschätzt als in der deutschen Normstichprobe.

Lediglich die soziale Funktionsfähigkeit (SOFU) ist gegenüber der deutschen Normstichprobe nur geringfügig geringer angegeben, mit einer statistischen Signifikanz unter 0,05 ($p = 0,03$) (s.Abb.24).

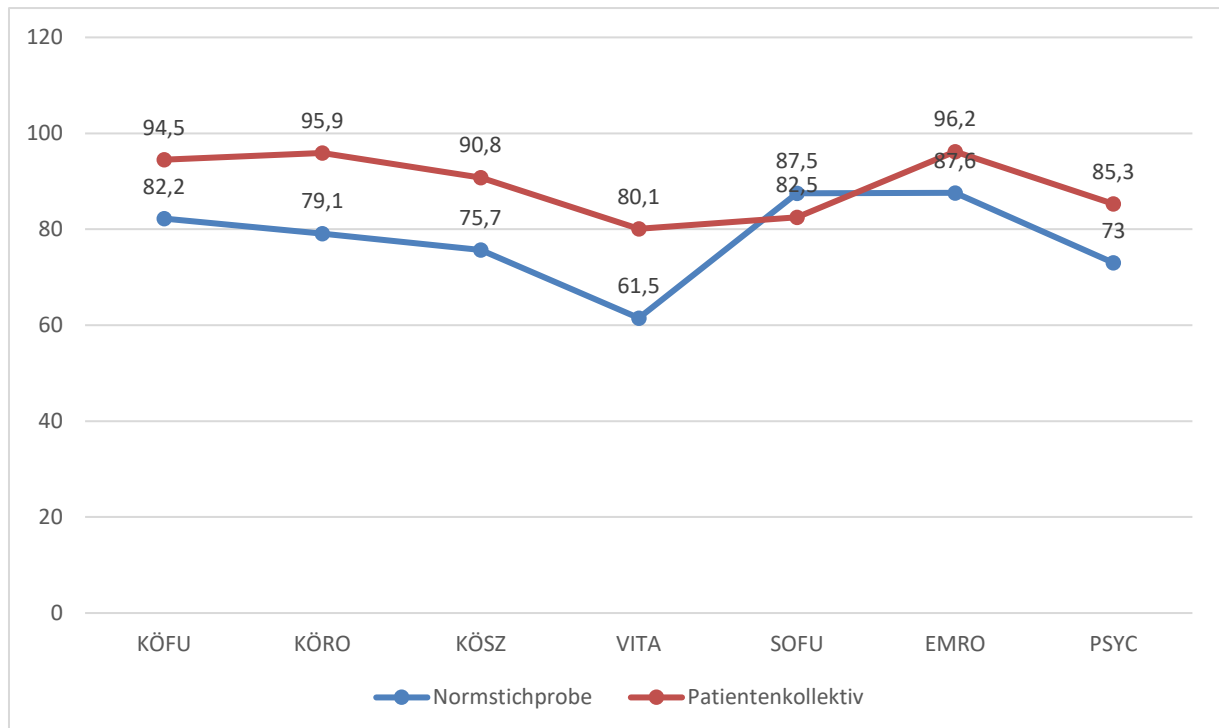


Abb.24: SF-36: Alle Kategorien im Vgl. zur Normstichprobe

Über 50% des Patientenkollektivs gaben eine Besserung des Gesundheitsempfindens im Vergleich zum Vorjahr an. Bei der Normstichprobe hingegen gaben 6% eine deutlich verbesserte Gesundheitswahrnehmung an. Eine schlechtere Gesundheitswahrnehmung ist bei nur knapp 2% angegeben. Bei der deutschen Normstichprobe 22%. Der Vergleich zwischen dem Patientenkollektiv und der deutschen Normstichprobe wurde mittels dem Welch`s-T-Test ausgewertet mit einer signifikanten Relevanz kleiner 0,05 ($p < 0,0001$) (s.Abb.25).

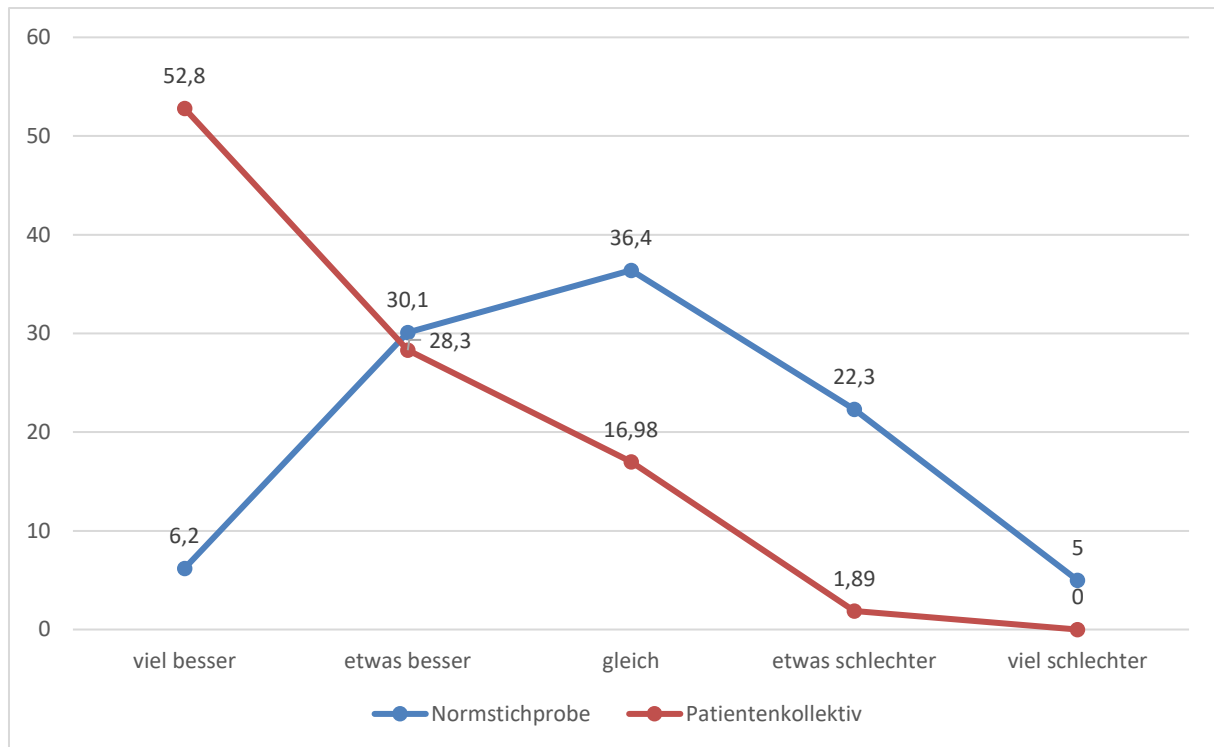


Abb.25: Gesundheitswahrnehmung Patientenkollektiv/Normstichprobe im Vergleich zum Vorjahr

6.4 Vancouver Scar Scale (VSS)

Vor der Lasertherapie lag die maximal ermittelte Punktzahl bei 10 von 13 Punkten. Nach erster Lasertherapie wurde maximal eine Punktzahl von 9 erreicht. Im Mittel war eine Punktzahl von initial knapp 7 Punkten und nach der ersten Laserung ein Mittelwert von 5,7 berechnet worden. Das bedeutet, dass bereits nach einer Lasertherapie eine Besserung in der Beurteilung der Narbenbeschaffenheit erreicht werden konnte (s.Abb.26).

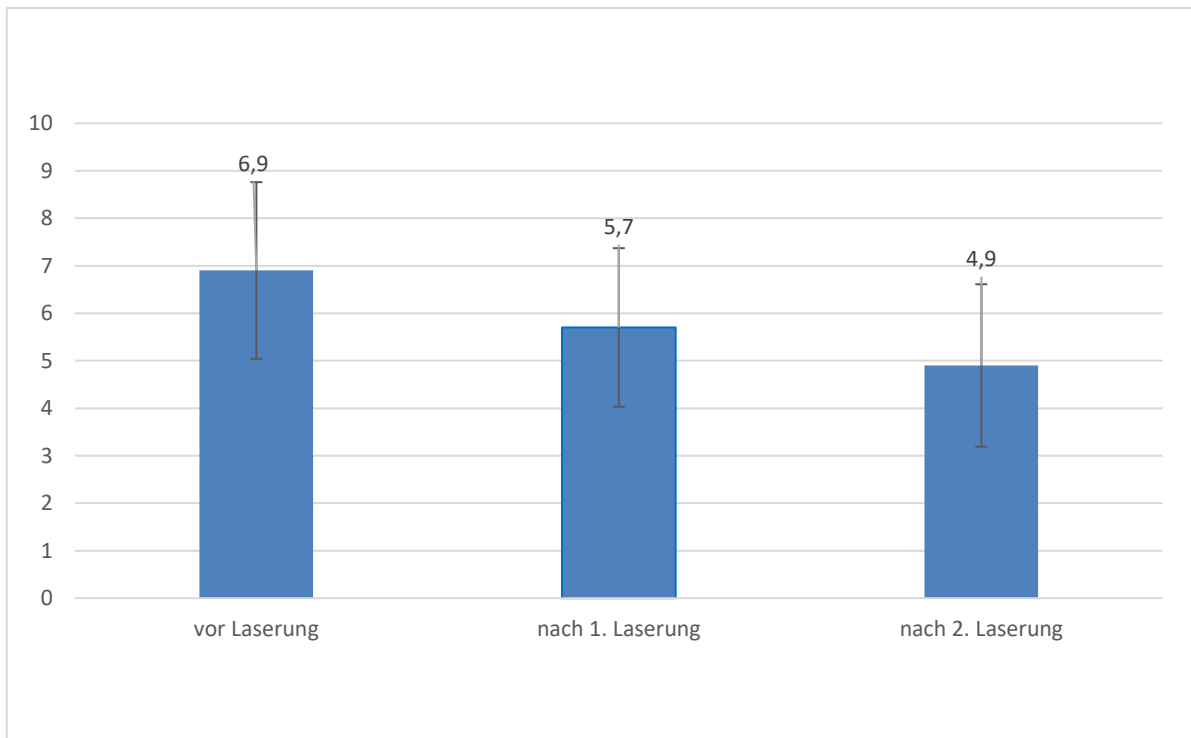


Abb.26: VSS-Gesamtpunkte

Die Narben wurden in der Kategorie Höhe sowohl nach 1. als auch nach 2. Laserung als flacher beschrieben (s.Abb.27).

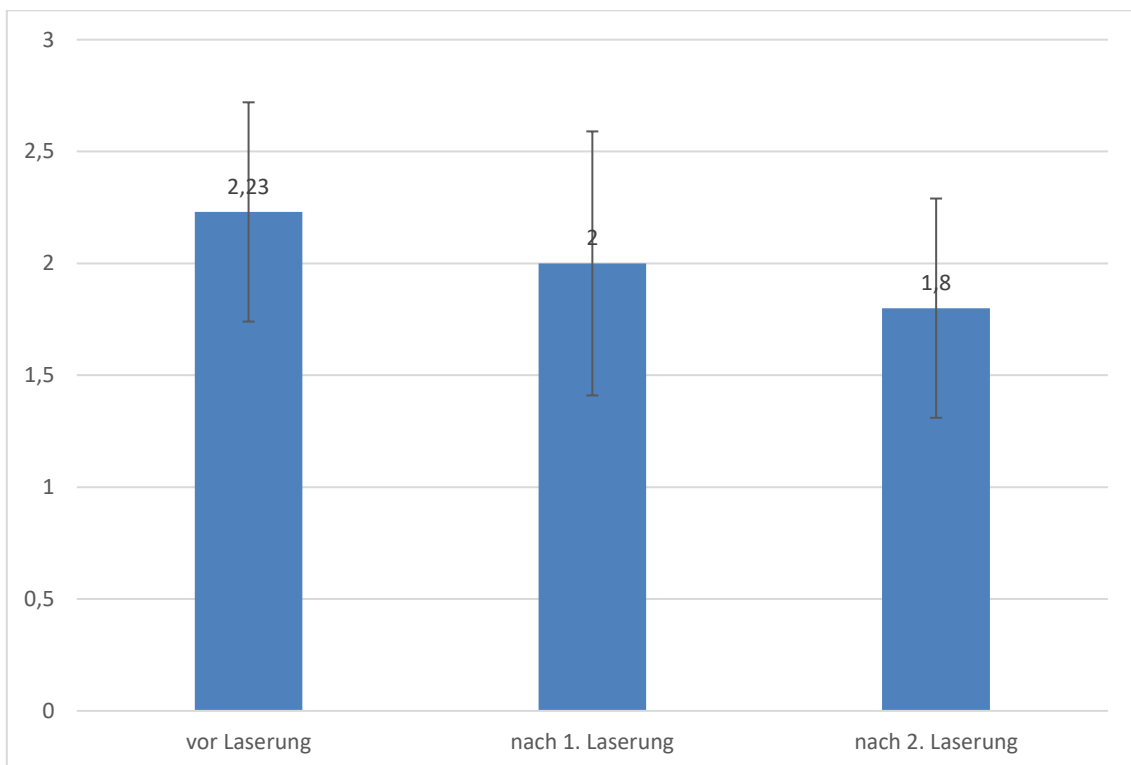


Abb.27: Punktebewertung (VSS) Höhe der Narben

Die Mittelwerte der Dehnbarkeit zeigen nach jeder Sitzung eine Besserung an (s.Abb.28).

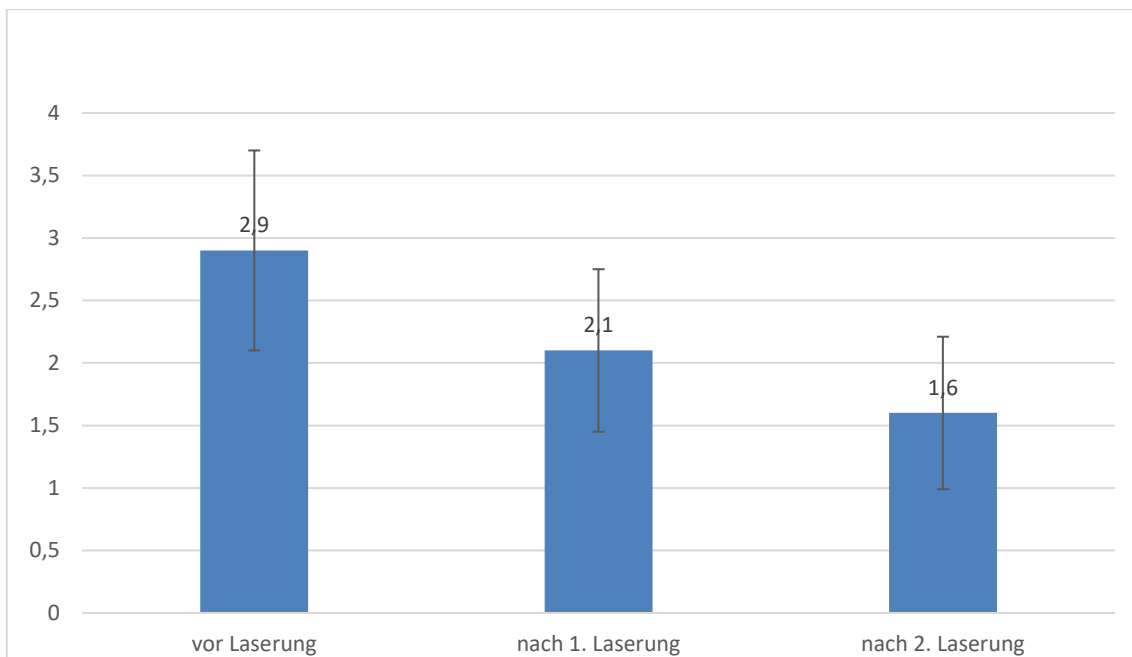


Abb.28: Punktbewertung (VSS) der Dehnbarkeit

Auch die Bewertung der Durchblutung der Narbe durch die sinkenden Mittelwerte zeigt eine Besserung der Rötung an (s.Abb.29).

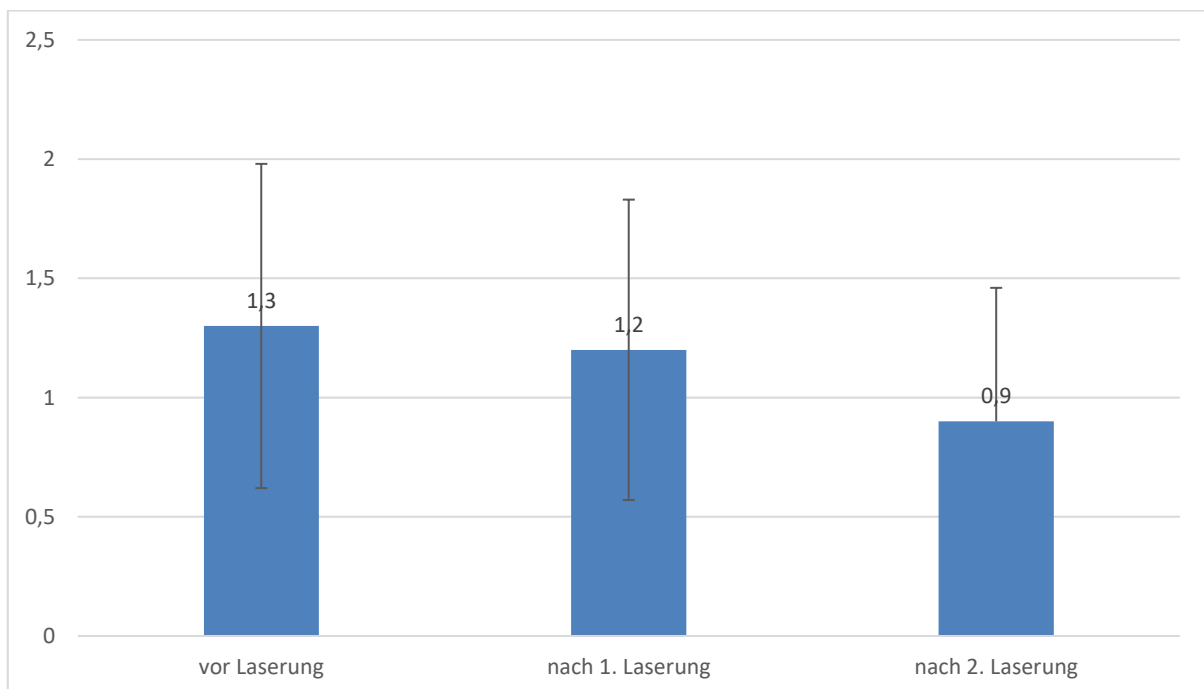


Abb.29: Punktbewertung (VSS) der Rötung der Narbe

Eine Veränderung in der Pigmentierung durch eine CO₂-Lasierung konnte im VSS nicht nachgewiesen werden (s.Abb.30).

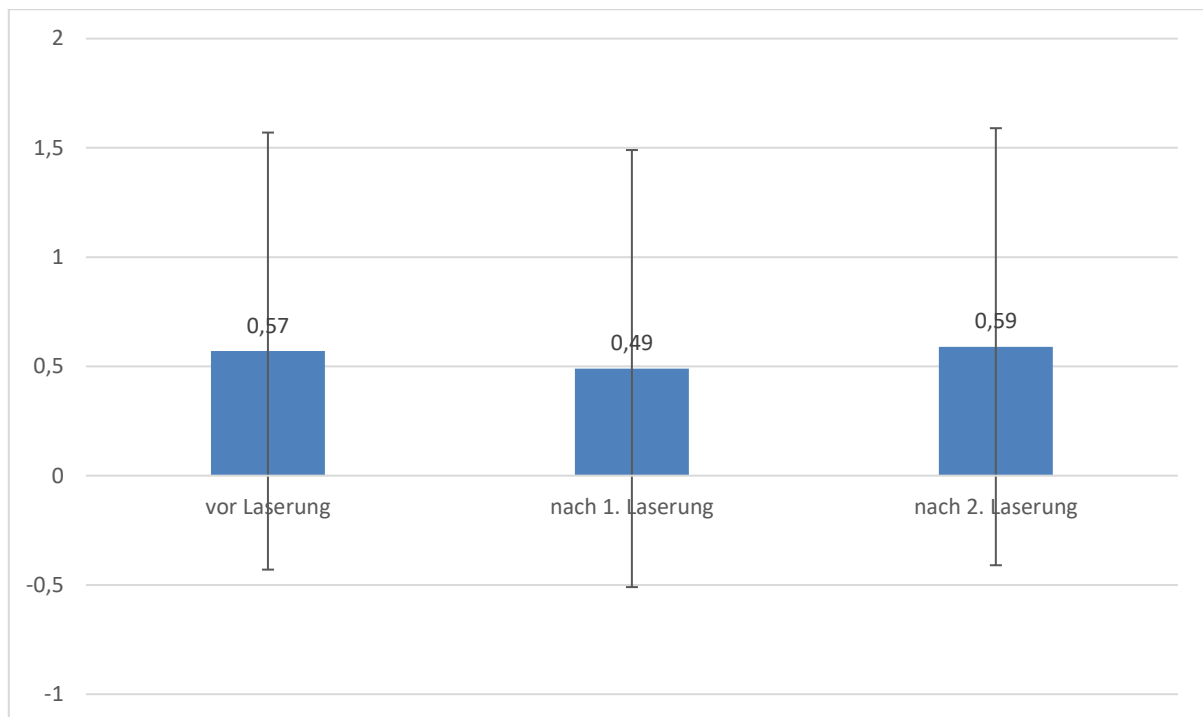


Abb.30: Punktbewertung (VSS) der Pigmentierung

Eine positive Korrelation des VSS-Gesamtwertes der Narbe und somit eine Verbesserung der Narbenbeschaffenheit vor und nach erster Lasertherapie zeigt der Spearman-Test ($r=0,86$; $p<0,0001$). Ebenso nach erster und zweiter Lasersitzung (nach Spearman mit $p=0,0001$, $r=0,91$).

Vor der Lasertherapie und nach zwei Lasersitzungen ergaben die Auswertungen ebenfalls eine positive signifikante Korrelation mit einem Signifikanzniveau unter 0,05 ($p=0,0004$). Der Differenztest nach Wilcoxon zeigte im Rahmen der VSS-Bewertung einen signifikanten Zusammenhang vor und nach Lasertherapie mit $p<0,0001$ (Übersicht s. Abb.31 mittels Bland-Altman-Plot).

Eine Besserung der Gesamt-VSS-Bewertung kann somit signifikant nachgewiesen werden.

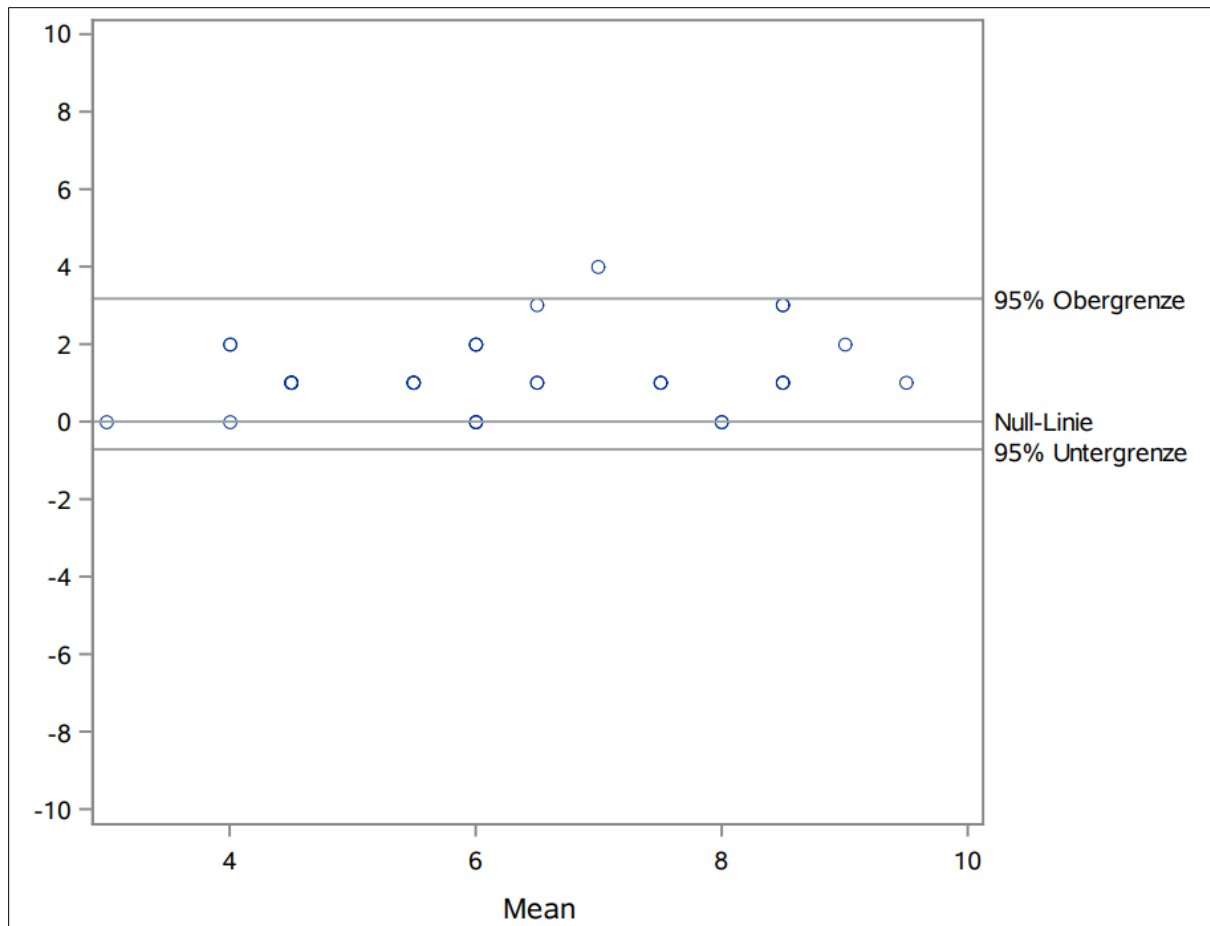


Abb.31: Bland-Altman-Plot VSS vor und nach 1. Lasertherapie

Die Dehnbarkeitsbeurteilung des VSS korreliert signifikant mit der Anzahl der Lasertherapien mit einem p-Wert $<0,05$ (p-Wert $<0,0003$; $r=0,57$). Der Wilcoxon-Test, der die Differenz der Bewertung der Dehnbarkeit vor Lasertherapie und nach Lasertherapie vergleicht, zeigt ebenso eine Signifikanz bei $p<0,05$ ($p=0,0001$). Bei gleichem Test zwischen erster und zweiter Lasertherapie ergibt sich jedoch ein p-Wert von $0,06$ ohne statistische Signifikanz (s.Tab.10).

Tab.10: Korrelation Dehnbarkeit VSS – Lasertherapie

Korrelation Spearman	Dehnbarkeit VSS vor Laser	Dehnbarkeit VSS nach 1. Laser
$r=0,57$ $p <0,0003$ $n=53$	2,9	2,14

Nach einer Korrelation der subjektiven Höhenbeurteilung des VSS-Scores der Narbe nach Lasertherapie ergab sich eine positive Korrelation mit $r=0,7$, die mit $p<0,05$ ($p=0,0001$) hochsignifikant ist. Dies bestätigt sich ebenso vor Lasertherapie und nach zwei Lasertherapien ($r=0,55$, $p=0,02$) (s.Tab.11).

Tab.11: Korrelation Höhe VSS, Anzahl Lasertherapien

Korrelation Spearman	Höhe VSS nach 1. Laser	Höhe VSS nach 2. Laser
Höhe VSS vor Laser	r=0,71 p <0,0001	r=0,55 p <0,02

6.5 POSAS

Die Observer-Einschätzungen der Narben der Patienten, bei denen eine bzw. mehrere Lasertherapien vorgenommen wurden, zeigen mit Zunahme der Anzahl der Lasertherapien eine rückläufige Punktzahl in allen Kategorien (s.Abb.32).

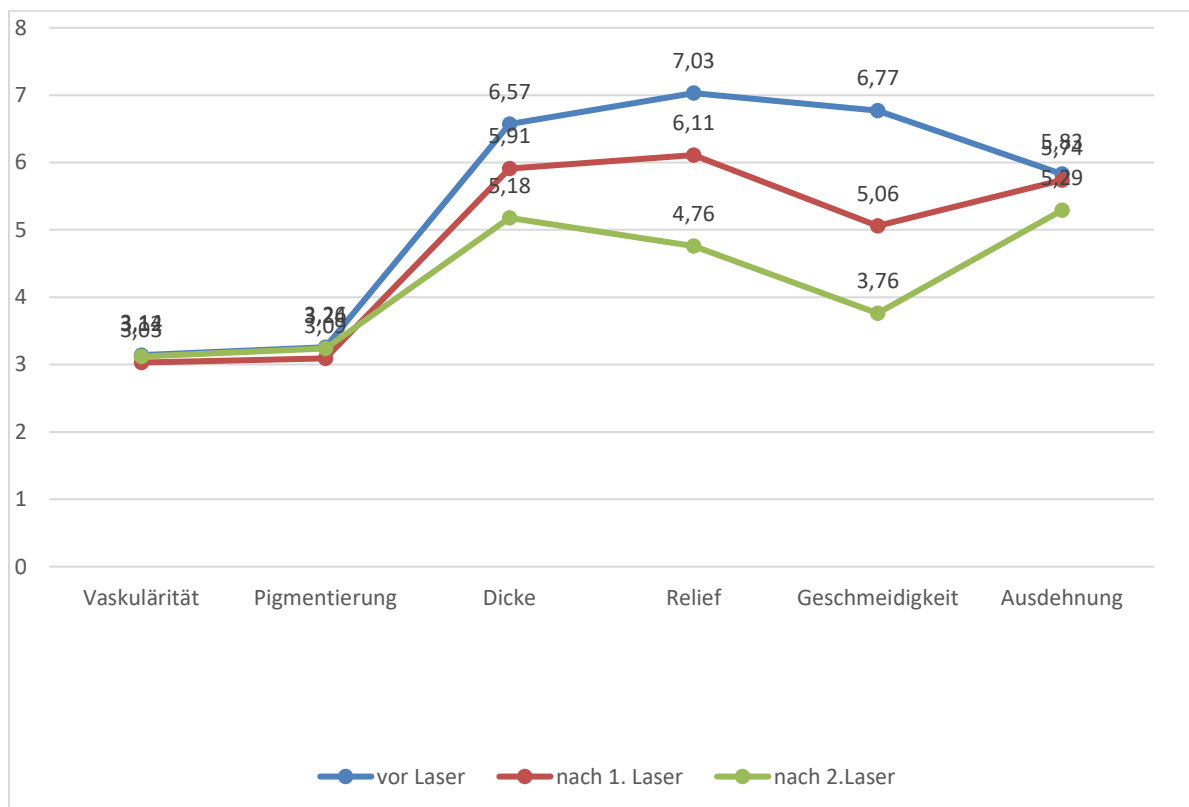


Abb.32: POSAS-Observer, alle Kategorien

Die Punktbewertungen der Patientenskala zeigen einen geringeren Punktzahlwert in jeder Kategorie nach jeder Lasersitzung (s.Abb.33).

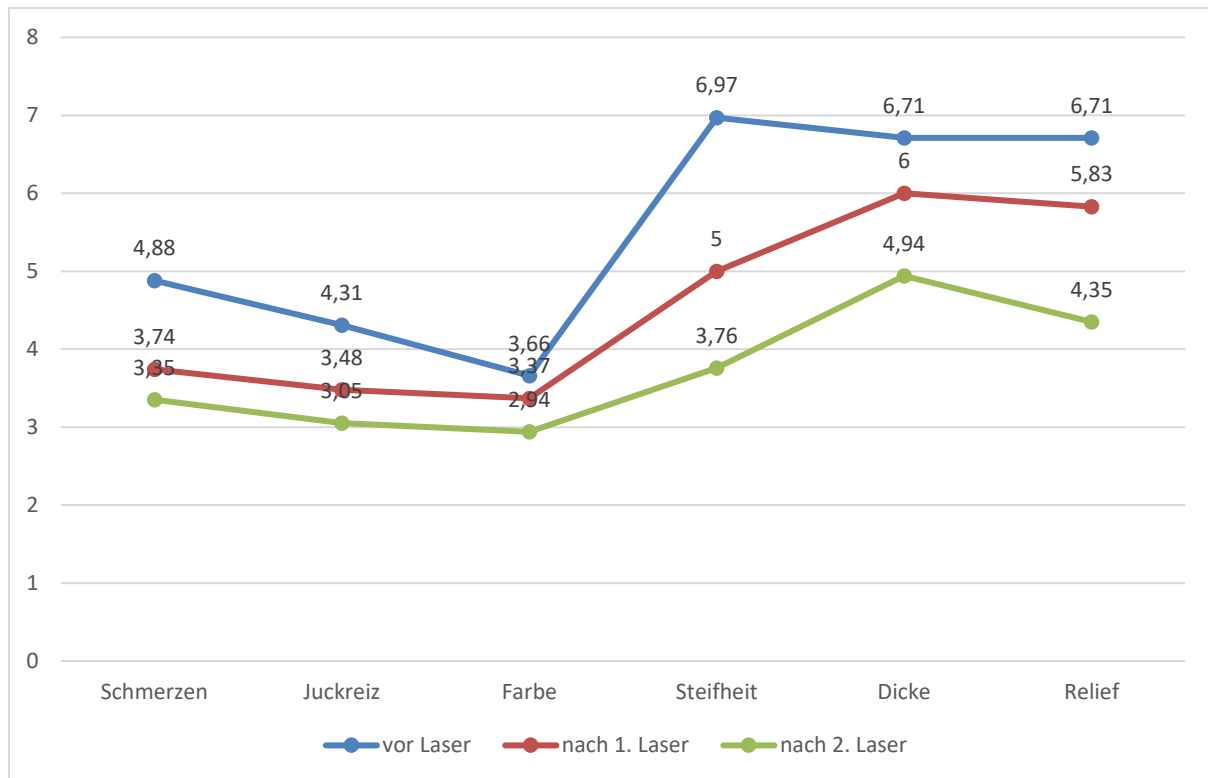


Abb.33: POSAS-Patient, alle Kategorien

Bei Vergleich beider Gruppen (Observer und Patientengruppe) von Relief und Dicke zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang. Es liegt jeweils vor und nach Lasertherapie ein Unterschied im Vergleich zur Vorbewertung vor(s.Tab.12).

Tab.12: Zusammenhang Dicke/Relief – Lasertherapie

	Observer vor Lasertherapie	Observer nach Lasertherapie	Patient vor Lasertherapie	Patient nach Lasertherapie
Relief	7,03	6,11	6,71	5,83
	p<0,017		p<0,0001	
Dicke	6,57	5,91	6,71	6,00
	p<0,0001		p<0,0001	

Mit zunehmender Anzahl der Lasertherapien sinkt die Punktbewertung bezüglich Dicke und Relief. Die Narbe wird sowohl von Observer als auch vom Patienten besser bewertet. Die Differenzen zwischen beiden Gruppen wurden mittels Wilcoxon-Test mit einer Signifikanz von p<0,0001 bestimmt (s. Bland-Altman Plot Abb.34-37).

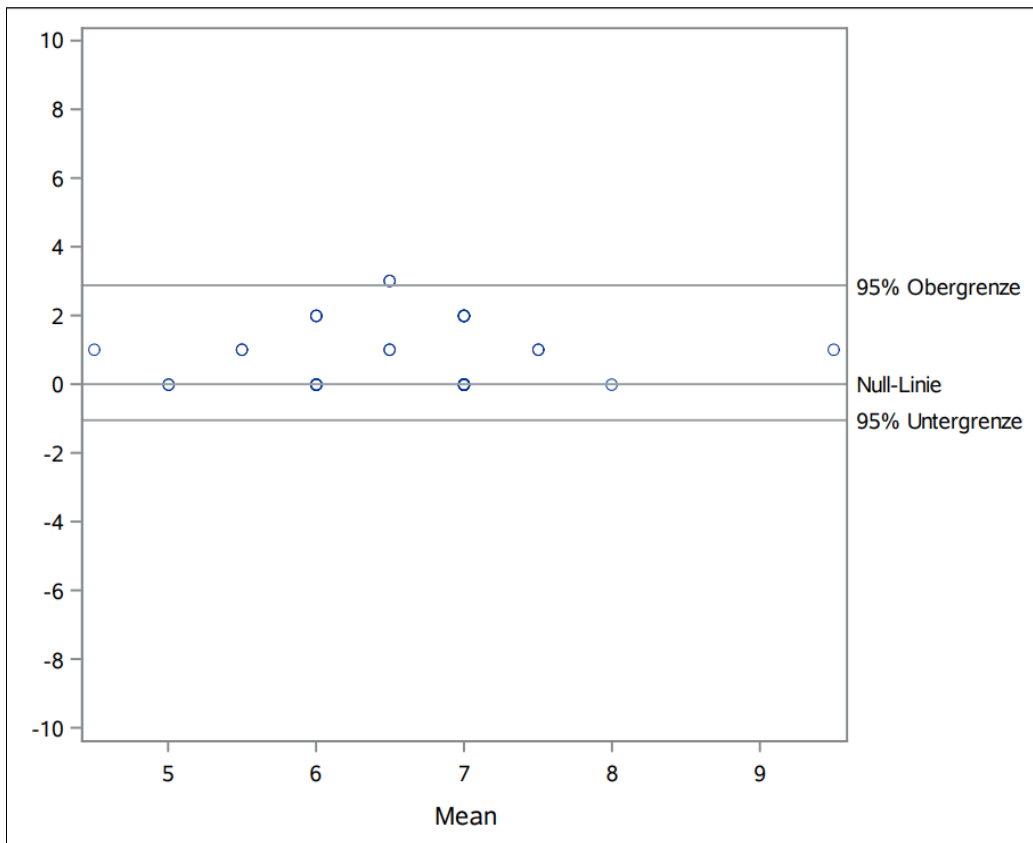


Abb.34: Differenzen POSAS-Observer-Bewertung Relief

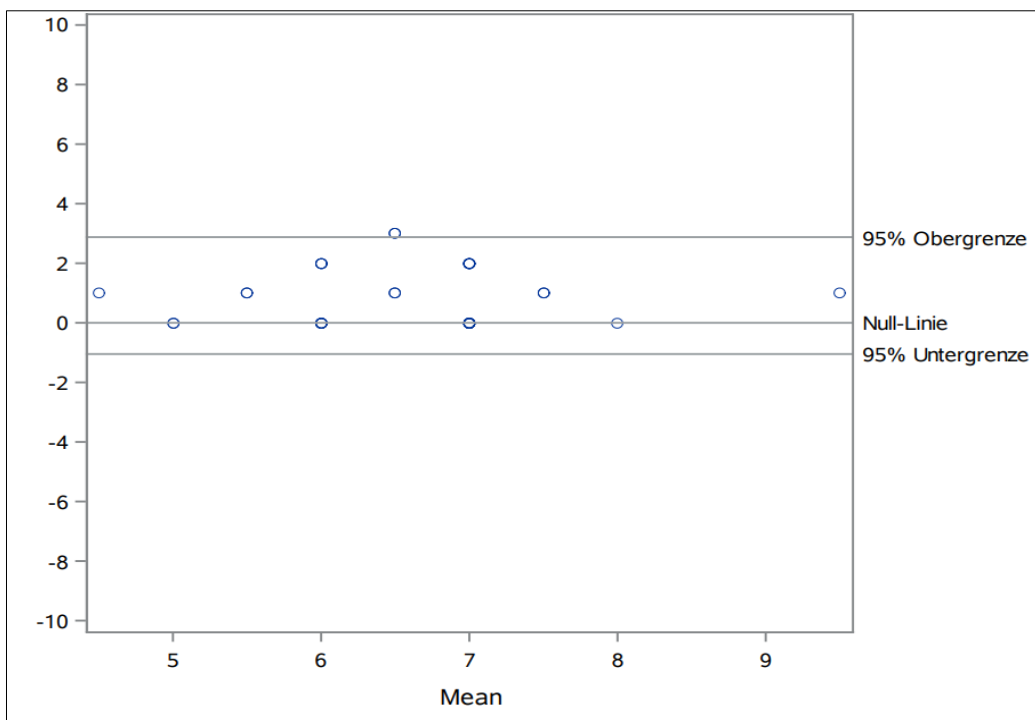


Abb.35: Differenzen POSAS-Patient-Bewertung Relief

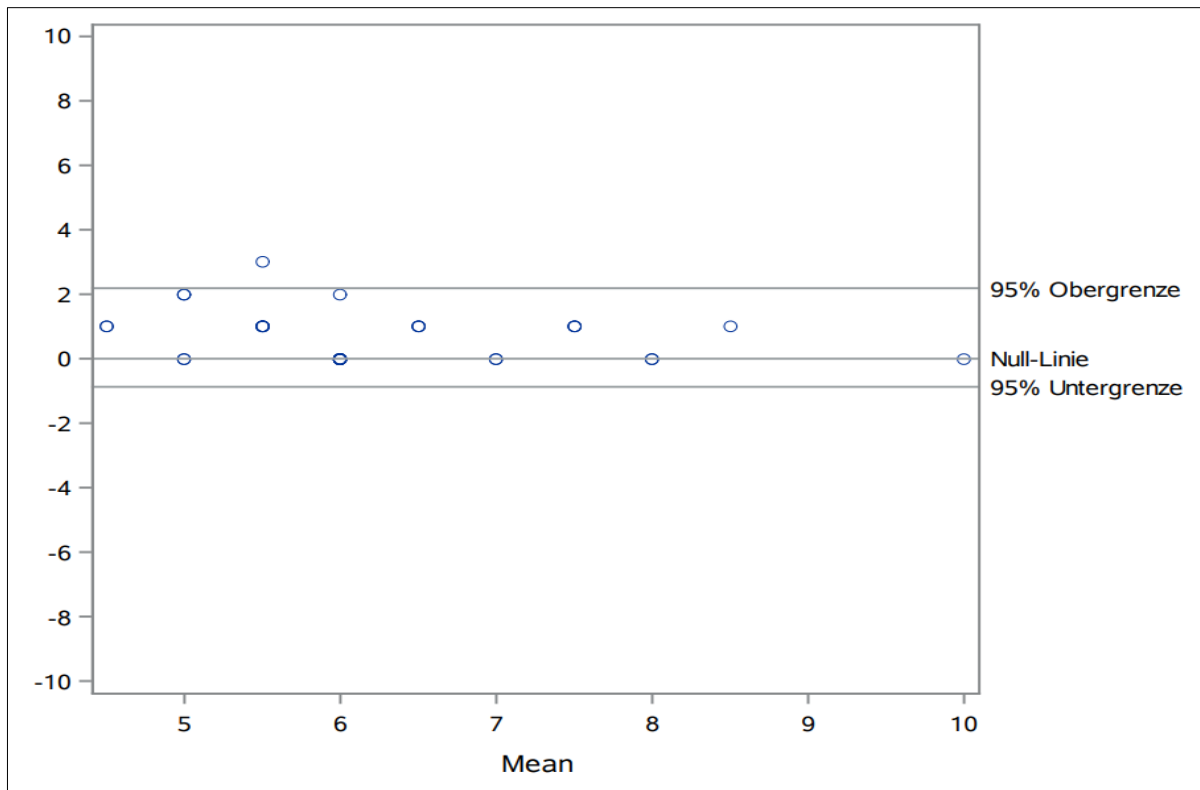


Abb.36: Differenzen POSAS-Observer-Bewertung Dicke

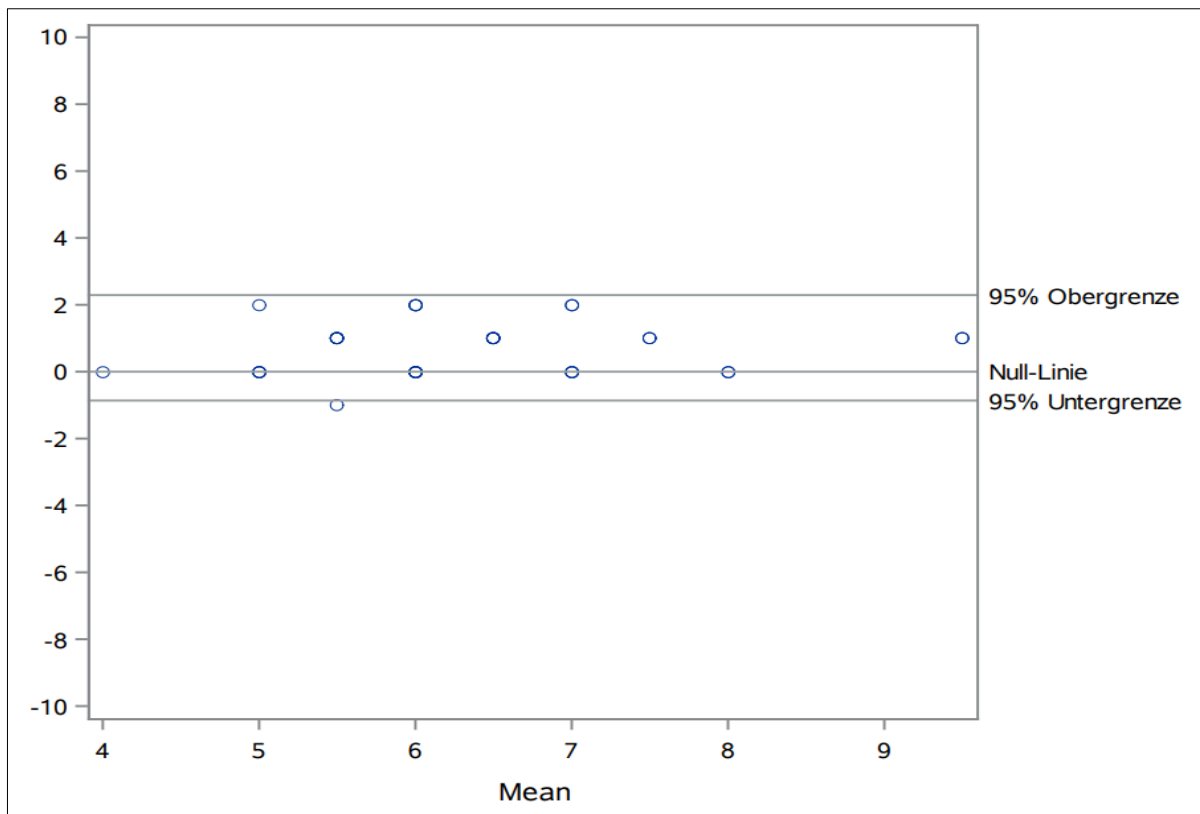


Abb.37: Differenzen POSAS-Patient-Bewertung Dicke

Die Korrelation der Observer in der Kategorie Gesamtbewertung vor und nach Lasertherapie ergaben einen signifikanten Zusammenhang mit $p < 0,05$ ($p = 0,0001$). Ebenso zeigt sich dieser signifikante Zusammenhang zwischen dem Befund nach einer und zwei Lasertherapien. Mit steigender Anzahl der Lasertherapien wird dementsprechend das Gesamtbild der Narbe durch den Observer (Spearman-Korrelation) besser bewertet.

Bei der Korrelation der Bewertung durch den Patienten in der Gesamtbewertung ergab sich ein signifikanter Zusammenhang bei $p < 0,05$ zwischen dem Gesamtbild der Narbe vor und nach Lasertherapie ($p < 0,0001$). Zwischen der Bewertung nach erster und zweiter Lasertherapie zeigt sich zugleich eine signifikante Korrelation mit $p < 0,05$ ($p = 0,01$). Die Gesamtbewertung der Narbe zeigt also auch durch die Patienten eine signifikante Besserung (s.Tab.13).

Tab.13: POSAS Gesamtbewertung - Observer und Patient

	Observer vor Lasertherapie	Observer nach Lasertherapie	Patient vor Lasertherapie	Patient nach Lasertherapie
Mittelwert	6,49	5,86	6,63	6,31
	$p = 0,0001$		$p < 0,0001$	

Die Bewertung des POSAS aus Patientensicht beinhaltet darüber hinaus subjektive Kriterien wie Juckreiz und Schmerzen. Die Mittelwerte zeigen eine bessere Bewertung, die mit $p < 0,05$ statistisch signifikant ist ($p < 0,0001$). Mittels Wilcoxon-Test beider Gruppen im Vergleich wurde dies signifikant mit $p < 0,05$ bestätigt ($p < 0,0001$). Mit Zunahme der Lasertherapien werden dementsprechend Schmerzen und Juckreiz durch den Patienten als signifikant besser beurteilt (s.Tab.14).

Tab.14: POSAS Schmerz und Juckreiz – Patient

	Patient vor Laser	Patient nach 1. Lasertherapie	Patient nach 2. Lasertherapie
Schmerzen	4,8	3,7	3,35
	$p < 0,0001$		$p < 0,0001$
Juckreiz	4,31	3,49	3,06
	$p < 0,0001$		$p < 0,05$

In der Kategorie Geschmeidigkeit lässt sich sowohl durch den Observer als auch den Patienten selbst ein signifikanter Zusammenhang ($p = 0,0001$) darstellen. Hieraus resultiert mit Zunahme der Anzahl der Lasertherapien eine deutlich weichere Narbe (s.Tab.15).

Tab.15: POSAS Geschmeidigkeit – Observer und Patient

	Observer vor Lasertherapie	Observer nach Lasertherapie	Patient vor Lasertherapie	Patient nach Lasertherapie
Mittelwert	6,77	5,06	6,97	5
	p = 0,0002		p < 0,0001	

Bei Korrelation der Narbenbewertung zwischen erster und zweiter Lasersitzung ergibt sich sowohl von Observer als auch von Patienten ein positiver Zusammenhang, jedoch ohne statistische Signifikanz bei der Patientenbewertung ($p=0,36$ bei $p>0,05$). Bei der Observerbewertung findet sich eine statistische Signifikanz bei einem p -Wert $<0,05$ ($p<0,0002$) (s.Tab.16).

Tab.16: POSAS Geschmeidigkeit 1./2. Lasertherapie – Observer und Patient

	Observer nach 1. Lasertherapie	Observer nach 2. Lasertherapie	Patient nach 1. Lasertherapie	Patient nach 2. Lasertherapie
Mittelwert	5,06	3,76	5	3,76
	p<0,0002		p=0,36	

6.6 DermaLab®

Es wurden insgesamt über 150 Elastizitätsmessungen vor und nach Lasertherapie durchgeführt. Dabei ist nach jeder Lasertherapie eine Verlängerung der Retraktionszeit der Narbe zu beobachten. Mit Anzahl der Lasertherapien steigt die Retraktionszeit (s.Abb.38).

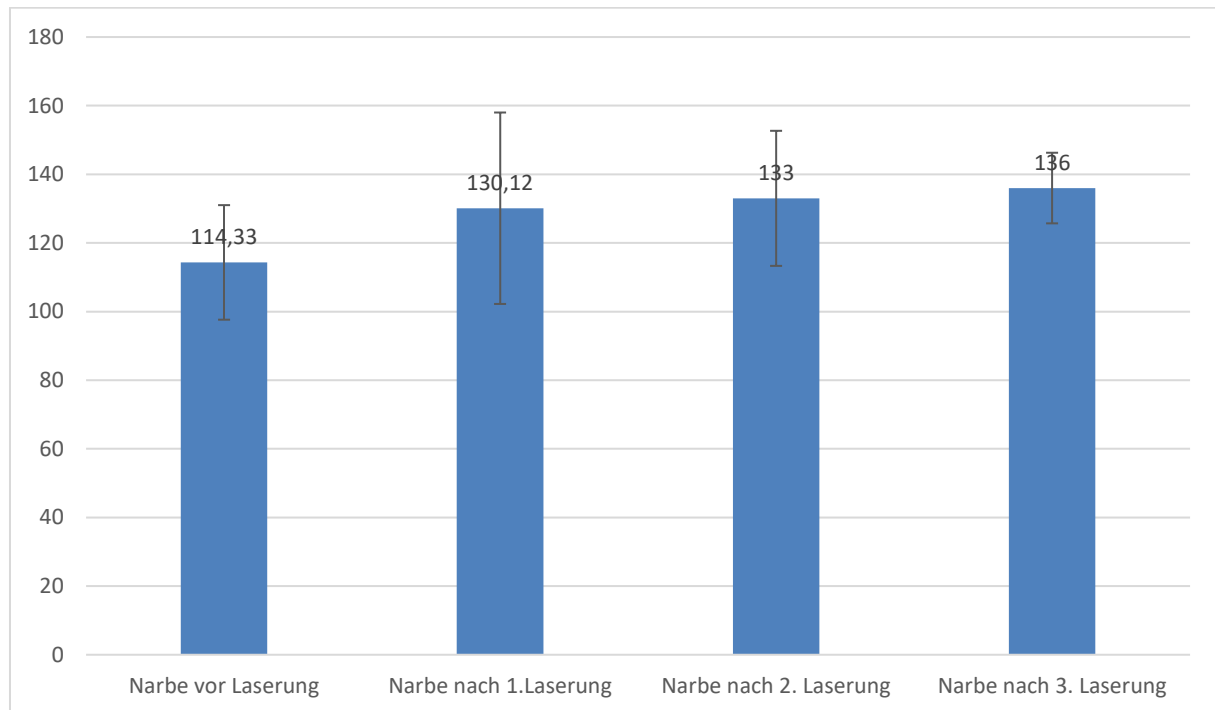


Abb.38: Retraktionszeiten (ms) Narbe

Um eine Aussage über die Retraktionszeit im Verlauf der Lasertherapien zu treffen, wurden die Ergebnisse der Messung der Retraktionszeiten ausgewertet. Die Retraktionszeit der Narbe vor Lasertherapie und nach erster Lasertherapie korrelieren bei einem p-Wert $<0,05$ statistisch signifikant miteinander ($p<0,004$). Ebenso findet sich eine positive Korrelation zwischen der Retraktionszeit der Narbe vor und nach zweiter Lasertherapie, statistisch signifikant bei einem p-Wert $<0,0001$ bei einem Signifikanzniveau von $p<0,05$. Bei Korrelation der Retraktionszeit vor und nach dritter Lasertherapie findet sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang mit einem p-Wert $<0,05$ ($p<0,0006$). Die Retraktionszeiten nach der ersten und zweiten Laserbehandlung korrelieren positiv miteinander. Bei einem p-Wert $<0,05$ ist dies ebenso signifikant ($p<0,004$). Die Retraktion nach erster und dritter Lasertherapie korrelieren positiv ohne statistische Signifikanz mit einem p-Wert $>0,05$ ($p=0,076$).

Der Wilcoxon-Test zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen der Retraktionszeit der Narbe vor und nach einer Lasertherapie mit $p<0,05$ ($p<0,0001$). Eine statistische Signifikanz mit $p<0,05$ ergibt sich auch beim Wilcoxon-Test zwischen Retraktionszeit vor und nach zwei Lasertherapien.

Die Differenzen sind in folgender Abbildung mittels Bland-Altman-Plot dargestellt (s.Abb.39).

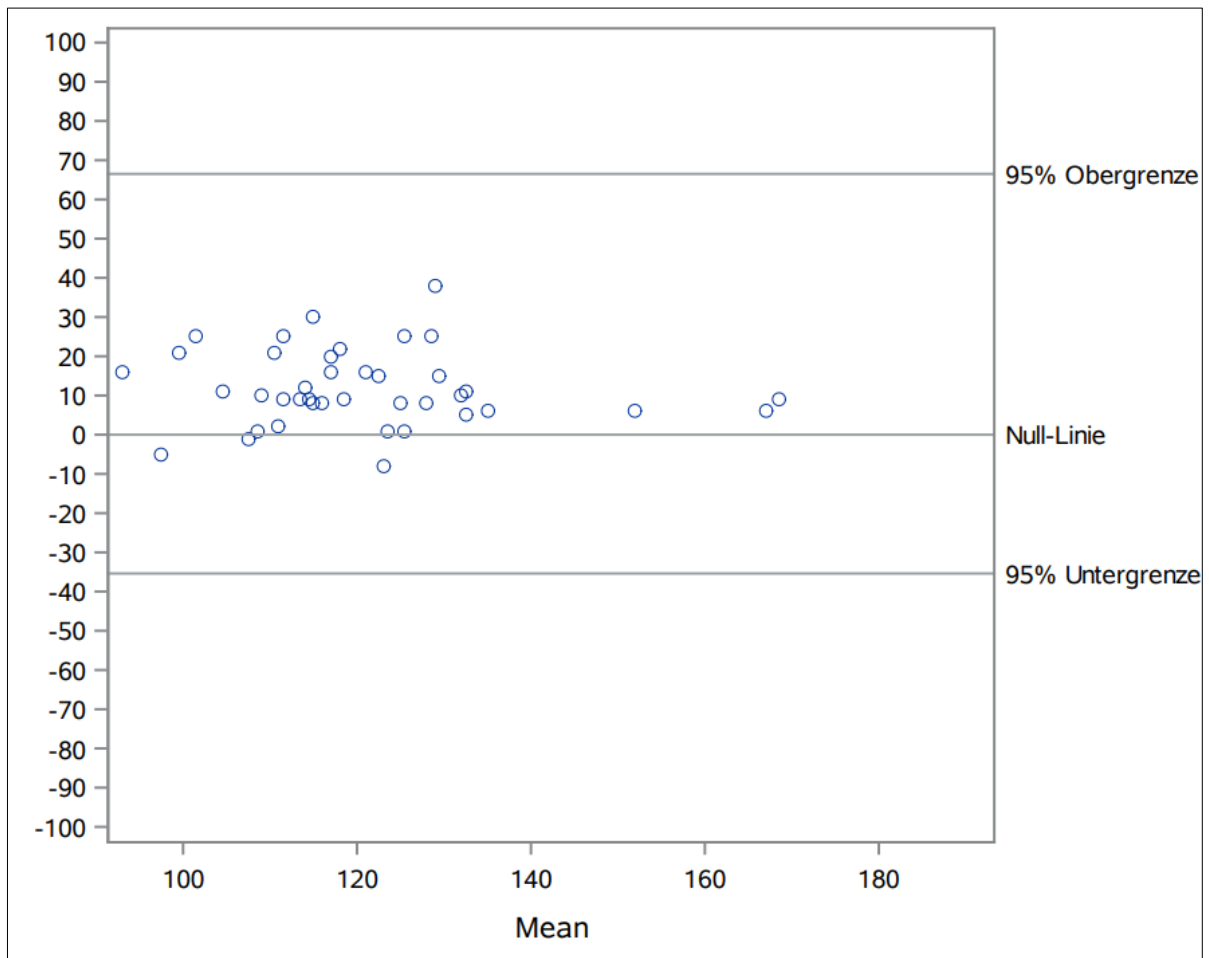


Abb.39: Retraktionszeit - Narbe - Vor und nach Lasertherapie

Eine statische Auswertung mithilfe des Wilcoxon-Test zwischen Retraktionszeit der gesunden Haut und Retraktionszeit nach Lasertherapie zeigte mit $p < 0,05$ einen signifikanten Zusammenhang ($p < 0,0001$). Die Differenzen der beiden Messungen vor und nach Lasertherapie sind mittels Bland-Altman-Plot (s.Abb.40) dargestellt.

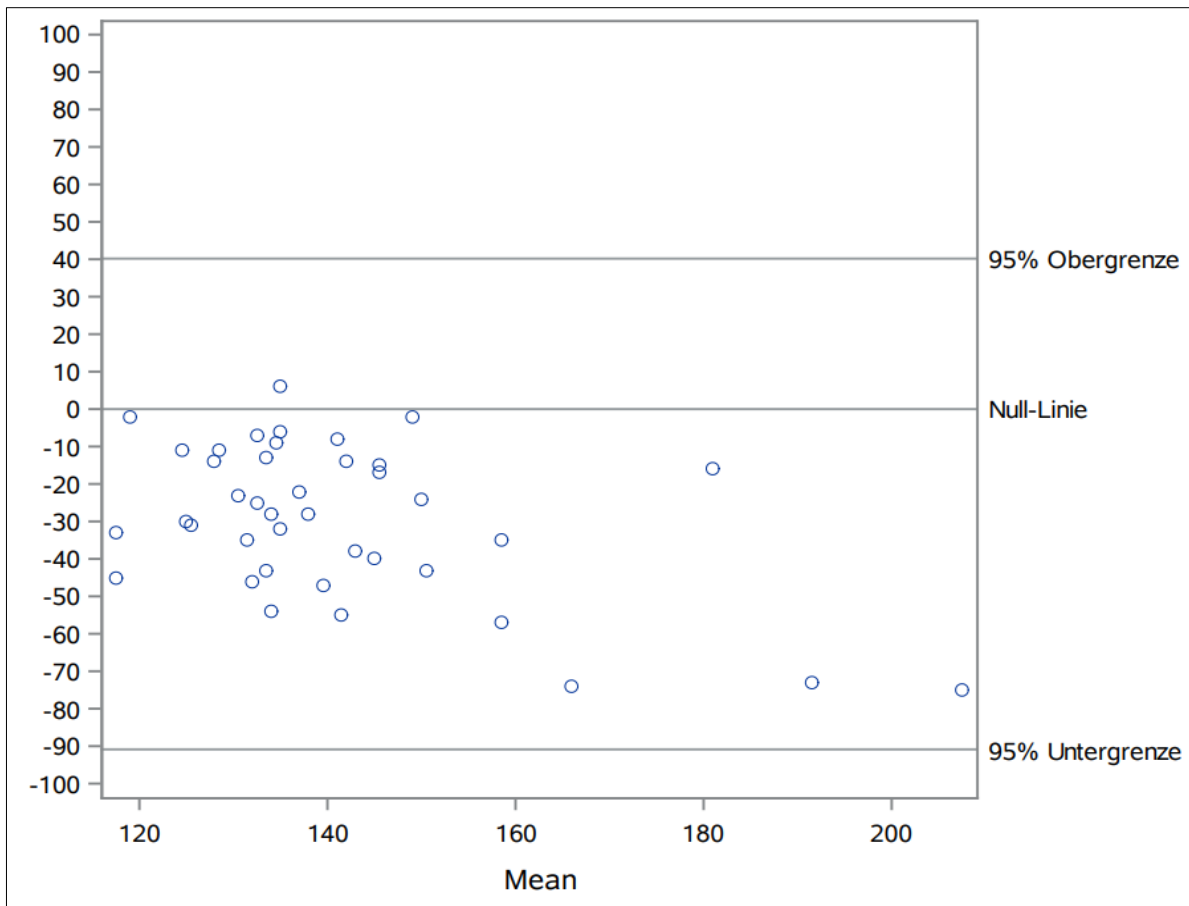


Abb.40: Retraktionszeit - Gesunde Haut / Narbe - Nach 1. Lasertherapie

Mit weiteren Lasertherapien nimmt die Differenz der Retraktionszeiten zwischen gesunder Haut und Narbe signifikant ab. Die Analyse der Differenzen der Retraktionszeiten zwischen gesunder Haut und Narbe nach erster und zweiter Lasertherapie ergab mit $p < 0,05$ einen signifikanten statistischen Zusammenhang ($p < 0,0001$). Nach dritter Lasertherapie zeigt der Wilcoxon-Test eine weitere statistische Signifikanz mit einem p-Wert bei 0,05 (s.Tab.17).

Tab.17: Differenzen Retraktion gesunde Haut – Narbe

	Retraktion Narbe vor Laser	Retraktion nach 1. Laser	Retraktion nach 2. Laser	Retraktion nach 3. Laser
Retraktion gesund	40ms	24ms	21ms	18ms
		0,0001	0,0001	0,0001

6.7 DermaLab® und VSS

Die Korrelation nach Spearman zwischen der Messung der Retraktionszeit der Narbe und der subjektiven Beurteilung der Dehnbarkeit (VSS) ergab mit $p < 0,05$ einen signifikanten Zusammenhang ($p = 0,03$), sowohl vor als auch nach Lasertherapie ($p = 0,01$). Das bedeutet, dass eine kurze Retraktionszeit mit einer schlechteren Bewertung der Dehnbarkeit der Narbe einhergeht. Dahingegen werden Narben mit längerer Retraktionszeit besser und so mit einer niedrigeren Punktzahl bewertet (s.Tab.18).

Tab.18: Retraktionszeit (DermaLab®) und VSS

Retraktion Lasertherapie	vor	Dehnbarkeit Lasertherapie	vor	
	114 ms		2,94	$p = 0,03$
Retraktion Lasertherapie	nach	Dehnbarkeit Lasertherapie	nach	
	130ms		2,14	$p = 0,01$

6.8 DermaLab® und POSAS

Bei der Korrelation nach Spearman zwischen der objektiven Retraktionszeit und der subjektiven Bewertung der Geschmeidigkeit (POSAS) fand sich ein signifikanter Zusammenhang mit $p < 0,05$ (s.Tab.19). Eine niedrigere Retraktionszeit geht mit einer schlechteren Bewertung der Narbe einher. Bei den Observern ließ sich sowohl vor als auch nach Lasertherapie mit $p < 0,05$ eine statistische Signifikanz darlegen ($p = 0,01$; $p = 0,04$). Bei den Patienten zeigte sich keine statistische Signifikanz bei einem p -Wert $> 0,05$ nach Lasertherapie ($p = 0,025$; $p = 0,63$).

Tab.19: Retraktion- Geschmeidigkeitsbewertung

	Observer vor Lasertherapie	Patient vor Lasertherapie	Observer nach Lasertherapie	Patient nach Lasertherapie
	6,77	6,63	5,06	5
	$p < 0,01$	$p = 0,025$		
Retraktion vor Laser	114ms	114ms	$p = 0,04$	$p = 0,63$
Retraktion nach Laser			130ms	130ms

7 DISKUSSION

Ziel der Arbeit war es herauszufinden, inwieweit die Lasertherapie die Narben nach thermischer Verletzung bei Kindern beeinflusst und die Qualität der Narben verändert. Es soll dargestellt werden, dass der CO₂-Laser insbesondere die Elastizität der Narbe positiv beeinflusst. Außerdem zeigte sich ergänzend, dass der Farbstofflaser (PDL) bei symptomatischen Narben mit Juckreiz und ausgeprägter Rötung eine gute Alternative ist.

Die Lasertherapie ist neben den herkömmlichen Methoden mittlerweile eine wichtige Therapie in der Narbenbehandlung. Die Behandlung von Kontrakturen und Texturstörungen nach thermischer Verletzung bei Kindern erscheint sinnvoll und wichtig. Die Option der Lasertherapie bietet sich insbesondere an, wenn die Narbe eine Bewegungseinschränkung zur Folge hat und eine plastische Korrektur je nach anatomischer Gegebenheit nicht zielführend ist. Die Lasertherapie kann so eine wenig invasive, aber gute Behandlungsalternative sein.

Die Ergebnisse dieser Studie liefern sehr gute Argumente sowohl zur Indikationsstellung der Lasertherapie als auch zum zeitlichen Ablauf zwischen den einzelnen Sitzungen. Die Ergebnisse decken sich mit den wissenschaftlichen Resultaten bezüglich der Remodellierung des Kollagens.

Eine Verbesserung der Narbenbeschaffenheit durch die CO₂-Lasertherapie nach nahezu jeder Sitzung bei Erwachsenen beschreibt beispielsweise Taryn E. Travis (2022) et al.¹⁰². In dieser Arbeit wird bestätigt, dass die Narbe durch die Lasertherapien nach subjektiven und objektiven Auswertungen verbessert werden kann. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch die Arbeitsgruppe um Zuccaro et al. (2018)³. Hier erfolgt die Narbentherapie mit CO₂-Laser und PDL. Patel et al.⁸⁶ legt den Fokus auf die Behandlung der Kinder und untermauert eine Verbesserung der Narbenqualität mittels POSAS-Score, vor allem in Bezug auf den Hauttyp und die Ursache der Narbenbildung.

7.1 Patientenkollektiv

Alter und Narkoseverfahren

Die Patient:innen dieser Studie sind durchschnittlich 8 Jahre alt. Je nach Alter des Patienten und der betroffenen Fläche sind die meisten Lasertherapien in Vollnarkose durchgeführt worden. Häufig wurden Laserbehandlungen mit anderen Eingriffen kombiniert, die regulär in Allgemeinanästhesie geplant wurden. So wurden beispielsweise plastische Korrekturen und Lasertherapien kombiniert. Kleinere Areale wurden in Analgosedierung behandelt. Die Erwartungen der Eltern und auch der älteren Kinder bezüglich der Verbesserung der Narbenqualität einer Lasertherapie sind in Anbetracht der zumeist in Vollnarkose durchgeführten Behandlung in dem präoperativen Gespräch besonders zu diskutieren und zu evaluieren. Kombinationseingriffe erleichtern hier die Indikationsstellung.

Hultman et al. (2014)¹⁰³ berichtet in seiner Arbeit, dass die Lasertherapie mittels Lokalanästhetika, in Analgosedierung mit Propofol und Ketamin aber auch in Allgemeinnarkose erfolgen konnte. In dieser Arbeit waren jedoch die meisten Patient:innen volljährige Probanden und nur ein kleiner Anteil minderjährig. Das Verfahren der Anästhesie ist abhängig von Alter, der zu behandelnden Narbenfläche und der bisherigen traumatischen Belastung des Patienten. Auch Issler-Fisher et al. (2017)⁴⁹ nennt genau diese Faktoren, welche zur Indikationsstellung der Lasertherapie relevant sind. Für die Bedingungen und Planung bezüglich der Wahl der

Analgesiedierung für eine Lasertherapie müssen in Zukunft weitere Kriterien untersucht werden.

Zeitpunkt CO₂-Laser

Nach unserer Erfahrung und in Anbetracht der Pathophysiologie ist der Beginn der CO₂-Laserung frühestens nach sechs Monaten sinnvoll^{50,88}. Dass die CO₂-Lasertherapie bereits deutlich früher durchgeführt wird, beschreibt eine Studie von Tan et al. (2021). In dieser Studie werden die Patienten bereits einen Monat nach Unfall mittels CO₂-Lasertherapie behandelt. Hier sind besonders die beschriebenen vulnerablen Wundverhältnisse mit verzögerter Wundheilung hervorzuheben¹⁰⁴. Unseren Erachtens ist dies mitunter ein Grund, die Lasertherapie erst nach Ausreifen der Narbe zu beginnen, um so die natürliche Heilung nicht zu beeinflussen. Ob die Lasertherapie allerdings einen positiven Effekt in der natürlichen Reifung der Narbe haben kann, ist schwer auszuwerten. Das kann und sollte aber Gegenstand einer weiteren Untersuchung sein. Eine 2019 erfolgte Studie von Waibel et al.¹⁰⁵ zeigte, dass eine frühe Intervention mittels CO₂-Laser das Kollagenremodelling signifikant positiv beeinflussen kann. Diese Studie hatte jedoch eine zu geringe absolute Probandenanzahl, sodass sich die allgemeine Tendenz zur frühen CO₂-Lasertherapie bisher nicht durchgesetzt hat. Die allgemeine Empfehlung für eine CO₂-Lasertherapie liegt bei drei bis sechs Monaten nach Unfall^{50,104} und ist insbesondere individuell abhängig von der Narbenbeschaffenheit.

Gemäß dem International Scar Consensus 2020⁵⁰ kann insbesondere bei älteren Narben eine Kollagenmodulation erreicht werden. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit. Der späteste Zeitpunkt, bei dem eine symptomatische Narbe mittels CO₂-Laser bei uns erfolgreich behandelt wurde, lag bei 19 Jahren nach Unfall.

Unsere Patient:innen erhielten im Mittel zwei Lasersitzungen, wobei die höchste Anzahl bei mittlerweile elf CO₂-Lasertherapien liegt. Auch in den Arbeiten von Zuccharo, Muser et al.³(2018) und Patel et al. (2019) findet sich der Mittelwert der Anzahl zwischen zwei und drei Lasersitzungen⁸⁶. Eine Grenze bezüglich der Anzahl der Lasertherapien ist laut aktueller Studienlage und in Abhängigkeit der Verwendung des Lasers in der Narbentherapie aktuell noch nicht festzulegen. Dahingegen stellt sich jedoch die Frage, inwieweit zahlreiche Vollnarkosen für die Lasertherapie toleriert werden können und sinnvoll erscheinen. Die durchzuführende Behandlung in Vollnarkose oder Analgesiedierung ist sicherlich der relevanteste Kritikpunkt der Lasertherapie bei Kindern. Wünschenswert sind daher Kombinationen mit anderen Operationen, wie z.B. plastische Korrekturen.

Zeitpunkt Farbstofflaser

In der vorliegenden Arbeit aber auch Studien von Alster et al.¹⁰⁶ und Willows et al.⁷⁸ beschreiben, dass die Narben nach thermischer Verletzung nach etwa zwei Monaten mittels Farbstofflaser gelasert werden. Indikationen dafür sind die starke Rötung und der therapieresistente Juckreiz. In der vorliegenden Arbeit wurde dies mit dem 595 nm-PDL durchgeführt. Es wurden Energien zwischen 5-9J/cm² verwendet, bei einer Pulslänge von 0,5ms abhängig vom Handstück, gemäß dem Internationalen Konsensus von 2020⁵⁰. Welche Energiedosis gewählt werden muss, ist sicherlich abhängig von der Erfahrung des Behandlers und andererseits auch davon, wie das Gewebe reagiert.

Vor Lasertherapie wurde die Rötung im Mittel mit 3,6 Punkten bewertet, nach zwei Lasertherapien lag ein Mittelwert von 2,9 vor. Ähnliches zeigte sich in der Kategorie Juckreiz. Hier war vor Lasertherapie der Mittelwert bei 4,3 und nach zwei Lasertherapien ein Mittelwert bei 3,0. Unsere Ergebnisse zeigen damit, dass wir bei allen Patienten eine statistisch signifikante Verbesserung in Farbe als auch abnehmenden Juckreiz erreichen konnten. Mit entsprechender Patientenzahl wird so die aktuelle Studienlage durch unsere Ergebnisse unterstützt und bestätigt, dass der PDL bei symptomatischen Narben im frühen Stadium angewendet werden kann.

Komplikationen Lasertherapie

Komplikationen nach Lasertherapie treten insgesamt sehr selten auf. Bei ablativen Laserungen liegt die Komplikationsrate bei 1:1000⁵⁰. Hierzu gehören die Wundinfektion oder Reaktivierung der hypertrophen Narbe.

In unserer Arbeit wurden bei fünf der Patient:innen eine offene Wunde als Komplikation nach Lasertherapie angegeben, wobei nicht näher eruiert wurde, ob nicht die normale Reaktion nach Lasertherapie vorlag. Eine echte Wundheilungsstörung kam nur bei einem Patienten vor, bei allerdings zu hoher Energie und zu hoher Dichte des Laserimpulses. Zudem fand sich präoperativ ein MRSA in der Wunde und die Laserung wurde unter anderem in der Anogenitalregion durchgeführt. Alle drei Faktoren sind als relative Kontraindikationen der CO₂-Lasertherapie zu werten, wie es auch schon im Internationalen Konsensus von 2020⁵⁰ beschrieben wurde. Hyper- oder Hypopigmentierungen wurden von knapp 90 % der befragten Patient:innen dieser Arbeit verneint.

Bei den 49 Patient:innen der Studie bei Patel et al.⁸⁶ wurde eine allergische Dermatitis als Komplikation einer CO₂-Lasertherapie beschrieben. Miletta et al.⁸⁷ gab bei insgesamt fünf von 22 Patient:innen Rötung und Hyperpigmentation der Narbe nach einer CO₂-Lasertherapie an. Von einer aufgetretenen Infektion wurde als Nebeneffekt nach Lasertherapie berichtet. Bei der Arbeit von Hultman et al.¹⁰³ beschrieben 19 von insgesamt 415 Patient:innen unerwünschte Nebenwirkungen wie Hypopigmentierung, postinterventionelle Hyperpigmentierung und Blasenbildung (nach PDL). Die Blasenbildung kann sicherlich damit zusammenhängen, dass eine zu hohe Energie verwendet wurde. Zusammenfassend mit Hinblick auf unsere Ergebnisse als auch nach Metaanalyse aller aktuellen Studien ist die Lasertherapie ein sicheres Verfahren zur Narbenkorrektur mit einem sehr geringen Komplikationspotential.

7.2 Fragebogen, SF-36

Knapp 70 % der befragten Patient:innen gaben an, dass nach CO₂-Lasertherapie die Dehnbarkeit verbessert und die Dicke geringer sei. 96% der Proband:innen waren mit der Therapie zufrieden und würden diese auch wiederholen lassen. Die Ergebnisse ähneln der Arbeit von Hultman et al. (2015)¹⁰³, in der die meisten Probanden der Studie eine hohe Zufriedenheit mit folgendem Wiederholungswunsch angegeben haben.

Diese hohe Zufriedenheit der Patienten als auch der Eltern sind höchst relevant und ausschlaggebend für das weitere Vorgehen der Narbentherapie bei Kindern.

Auch die Studie von Poetschke et al. 2017¹⁰⁷ zeigte eine Verbesserung in der Dehnbarkeit der Narbe. In dieser Arbeit wurden zehn Patienten mittels CO₂-Laser behandelt. Die Narbe wurde vor und nach Therapie durch den POSAS und VSS bewertet und zeigte nach der ersten Laserbehandlung ebenfalls in beiden Bewertungsbögen eine bessere Bewertung.

Der SF-36 dient als standardisierter Fragebogen bezüglich der Lebensqualität als ein gutes Erhebungsinstrument. In unserer Studie konnte in den meisten Subskalen eine deutlich bessere Punktzahl eruiert werden, im Vergleich zur Normstichprobe. Insgesamt zeigt sich eine höhere Wertevergabe in allen Kategorien durch die Patient:innen im Vergleich zur Normstichprobe. Dabei ist zu beachten, dass die deutsche Normstichprobe an erwachsenen Probanden durchgeführt wurde und der SF-36 im Rahmen der Studie in Bezug auf Kinder vorgenommen wurde. Der SF-36 wurde hauptsächlich von den Erziehungsberechtigten ausgefüllt. Im Vergleich zu der Arbeit von Miletta et al. (2019)⁸⁷ zeigt sich in unserer Arbeit eine signifikante Verbesserung der Lebensqualität. Miletta et al. beschreiben zwar eine Verbesserung, allerdings ohne statistische Signifikanz. Als Limitation des SF-36 wird bei Miletta et al. der Gewohnheitseffekt mit angegeben. Damit ist gemeint, dass sich die Patient:innen vermutlich an die Situation mit ausgeprägten Narben gewöhnt haben und sich an der Gesamtlebensqualität nicht relevant etwas ändert. Um einen besseren Vergleich vornehmen zu können, sollte in der Akutphase nach Verletzung eine Bestandsaufnahme bezüglich der Lebensqualität gemacht werden.

Des Weiteren kann die Lebensqualität mit dem DLQI-Dermatology Life Quality Index eingeschätzt werden, wie Poetschke et al. 2017¹⁰⁷ beschrieben haben. Hier konnte eine signifikante Besserung nach einer Lasertherapie gezeigt werden.

7.3 VSS und POSAS

Zur Beurteilung der Narbenentwicklung vor und nach der Lasertherapie wurde der VSS mit den Eigenschaften Biogsamkeit, Pigmentierung, Höhe und Rötung sowohl vor als auch nach der Lasertherapie von den behandelnden Ärzten angelegt. In der vorliegenden Arbeit ist zu sehen, dass die Punktebewertung des Gesamtscores bei einem p-Wert $<0,05$ signifikant geringer wird. Das bedeutet, dass das Gesamtbild der Narbe besser bewertet wird. Anfangs war der Ausgangswert im Mittel bei 6,9. Nach zwei Lasertherapien lag er bereits bei 4,9. Insbesondere die Eigenschaften der Dehnbarkeit (Mittelwert von 2,9 vor Laserung auf 1,6 nach zwei Lasertherapien) und der Höhe (Mittelwert von 2,23 vor Laserung auf 1,8 nach zwei Lasertherapien) sind unter CO₂-Lasertherapie deutlich besser bewertet worden. Ähnliche Resultate der VSS-Bewertung finden sich in der Publikation von Zadkowski et al. 2016. Dort wurden 57 Patienten im Alter von sechs bis 16 mit dem CO₂-Laser behandelt und die Narbe (VSS) beurteilt¹⁰⁸. Dabei fanden sich nach der CO₂-Lasertherapie signifikante Veränderungen mit einer geringeren Punktbewertung in den Kategorien Dehnbarkeit und Höhe bei einem p-Wert $<0,05$.

Verbesserungen in der Bewertung (VSS) finden sich auch in der von Travis et. al veröffentlichten Studie von 2022. Hier wurden 29 Patienten innerhalb von 3 Jahren beobachtet und ebenso der VSS vor bzw. nach jeder Lasersitzung durchgeführt. Bereits nach der ersten Lasertherapie war eine signifikante Verbesserung mit $p<0,0003$ zu verzeichnen¹⁰².

Der VSS wurde jeweils vom Behandler ausgefüllt. Die Patienten und ihre Ärzte als auch die Ärzte untereinander sind sich im Beschreiben der Narben nicht immer einig. Dies unterstreicht, wie wichtig der POSAS bei der Beurteilung und Bewertung der Verbrennungsbehandlung durch die CO₂-Lasertherapie ist. Beobachter bewerten die Narben von Patienten auf der POSAS-Gesamtskala durchweg niedriger (besser) als die Patienten. Dies kann auf den Kontext und die Erfahrung eines Beobachters hinweisen, der in der Verbrennungsbehandlung viele Narben beurteilt hat, während die Sichtweise eines Patienten nur auf eigenen Erfahrungen beruht. Wenn Patienten

nach ihrer Gesamtbeurteilung ihrer Verbrennungsnarben im Vergleich zu normaler Haut gefragt werden, wie es im POSAS-Patient der Fall ist, bewerten sie die Narben häufig eher mit einer höheren Punktzahl, was "sehr anders" als normale Haut bedeutet. Der POSAS wird für eine Vielzahl von Narben verwendet, wurde aber ursprünglich für lineare chirurgische Narben entwickelt und angewandt. Für Patienten mit Verbrennungsnarben kann dieser Vergleich mit normaler Haut unrealistische Erwartungen setzen und die Zufriedenheit der Patienten beeinträchtigen. Dennoch ist er aktuell neben den anderen Scores einer der häufigsten und validiertesten Scores, wie auch dem Internationalen Konsensus von 2020⁵⁰ zu entnehmen ist.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen im POSAS eine signifikante Besserung der Schmerzen und des Juckreizes nach jeder Lasertherapie. Gleiches zeigt sich im Artikel von Hultman et al. 2015¹⁰³. Ebenso wird eine Besserung des Gesamtscores sowohl des VSS als auch des POSAS im Observer- und Patientenpart festgestellt. Diese Beobachtung findet sich auch in der Arbeit von Miletta et al. (2019)⁸⁷. In dieser Arbeit wurden 29 Patienten mit symptomatischen, hypertrophen Narben mit dem CO₂-Laser behandelt und nachuntersucht. 12 der untersuchten Patient:innen waren unter 18 Jahre.

7.4 DermaLab®

Es gibt momentan nur sehr wenige Studien, welche den DermaLab® zur Grundlage und als Verlaufsparemeter zur Messung der Narbenqualität nach der Lasertherapie verwenden. Ein Problem ist, dass unterschiedliche Geräte mit großer Variabilität der Lasereinstellungen in unterschiedlichen Studien verwendet werden^{87,102,109}. Zudem besteht eine große Variabilität in der Narbenbeschaffenheit mit heterogener Ursache. Trotz der unterschiedlichen Faktoren muss klar definiert sein, an welcher Stelle gemessen wird. Die zu messende Stelle sollte fotodokumentiert werden, um dadurch so wenig wie möglich Messfehler zu generieren.

Künftige Studien würden davon profitieren, randomisierte Studien zur Behandlung von Narben im Vergleich zu behandelten Stellen durchzuführen, mit Beibehaltung der Untersuchungsmethoden entsprechend unseres Studiendesign, um den zeitlichen Verlauf der Veränderung von Narben durch CO₂-Laser weiter zu beschreiben.

Die in unserer Studie gemessenen Verbesserungen in Narbenqualität nach bereits einer Lasersitzung, aber insbesondere die stetige Besserung nach drei oder mehr Sitzungen, ist eine gute Grundlage für eine präoperative Beratung. Liegen symptomatische Verbrennungsnarben oder Kontraktoren vor und bei fehlender Möglichkeit einer plastischen Korrektur, ist die Versorgung durch eine CO₂-Laserbehandlung mittlerweile unabdingbar.

In unserer Studie zeigten wir neben frischen Verbrennungsnarben mit deutlichen Kontraktoren eben auch bei alten ausgereiften Narben eine deutliche Verbesserung in Geschmeidigkeit und Ästhetik. So konnte beispielsweise eine alte Narbe mit deutlichem Streckdefizit am Ellenbogen, ausgelöst durch ein Paravasat nach Infusion nach nur wenigen Sitzungen komplett behoben werden (vier Sitzungen innerhalb eines Jahres). Überzeugender als jede Messung ist das Aufheben eines Bewegungsdefizit im Gelenk durch eine Narbe insbesondere bei älteren ausgereiften Narben.

Bei nicht gelenkübergreifenden Narben ohne Kontraktoren oder massiven Einschränkungen kann mithilfe unserer Elastizitätsmessung eine objektive

Veränderung den Eltern als auch den betroffenen Kindern überzeugend mitgeteilt werden. Zusammengefasst deuten die Daten der Elastizitätsmessung darauf hin, dass die Patienten zuverlässig mit einer Verbesserung der Narbensteifigkeit nach einer Lasertherapie rechnen können.

8 ZUSAMMENFASSUNG

Nach thermischen Verletzungen kommt es nach Abschluss der Akutversorgung in Abhängigkeit von der Tiefe der Läsionen zu großflächigen störenden Narben. Die ausgereiften, steifen Narben führen vor allem gelenknah zu Bewegungseinschränkungen. Bei ausgeschöpften konservativen Maßnahmen ist eine Lasertherapie oftmals die beste Möglichkeit, eine Verbesserung der Narbenbeschaffenheit zu erreichen. Die Lasertherapie ist zum Teil in der Verbrennungschirurgie zum Standardverfahren geworden, bei Kindern allerdings noch in Erprobung.

Bei der CO₂-Lasierung dringen die Laserstrahlen bis in die Lederhaut ein, um dort thermische Änderungen zu verursachen. Diese kleinen Gewebsschädigungen stimulieren die Bildung von neuen Kollagenfasern, welche durch Neuordnung eine flachere, weichere Narbe erzielt. Bei der Farbstofflaserung hingegen ist die Zielkomponente das Hämoglobin. Durch die Denaturierung der Proteine bei 50-70°C und Modifizierung des Hämoglobins kommt es zum Abblassen der Narbe und Verminderung des Juckreizes.

Ziel der Arbeit war es festzustellen, wie sich die Lasertherapie bei hypertrophen Narben bei Kindern auswirkt. Dies gab den Anlass eine Studie bezüglich der objektiven Effektivität und der Patientenzufriedenheit nach Lasertherapie von Verbrennungs- bzw. Verbrühungsnarben durchzuführen. In der Zeit von 2012 bis 2021 wurden die symptomatischen Narben von 78 Patienten und Patientinnen nach thermischer Verletzung mittels CO₂-Laser und PDL behandelt. Eine Beurteilung und Beschreibung der Narben erfolgte durch einen Fragebogen und mehrere Scores (SF-36, VSS und POSAS). Neben der vor allem subjektiven Einschätzungen wurden objektive Kriterien wie die Hautelastizitätsmessung (DermaLab®, Fa. Cortex) vor und nach jeder Lasersitzung ermittelt.

Die Ergebnisse zeigen, dass 96% der Patient:innen zufrieden waren und 90% eine Wiederholung der Lasertherapie wünschen. Die Beurteilung der Proband:innen zeigte im Hinblick der Dehnbarkeit nach Lasertherapie mit etwa 70% eine Besserung. 64% empfanden die Dicke der Narbe als geringer. Ebenso konnte ein positiver Einfluss auf die Lebensqualität nach Laserintervention gezeigt werden.

Die Studie bestätigt eine effektive Therapie hypertropher Narben nach thermischer Verletzung mittels CO₂-Laser bei Kindern. Mit der Lasertherapie wird bei geringem Risiko eine statistisch signifikante Besserung der Narbenbeschaffenheit, insbesondere der Elastizität, mit daraus resultierender besserer Beweglichkeit erreicht. Die Ergebnisse werden sowohl objektiv als auch subjektiv in der Arbeit dargelegt. Die Elastizitätsmessung durch das DermaLab® eignet sich dabei als objektives Messinstrument. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass die Lasertherapie auf eine hohe Patientenakzeptanz stößt und neben der deutlichen Zunahme der Lebensqualität der Kinder auch objektive Verbesserungen in der Narbenqualität zeigt.

Besonders hervorzuheben ist, dass das Alter der Narben in dieser Studie eine sehr große Spanne, teilweise bis über 10 Jahre nach Verletzung umfasst. Eine Verbesserung der Narbenqualität nach Verbrennungen zu erreichen, die deutlich über den erwarteten Zeitrahmen des typischen Narbenumbaus hinausgeht, zeigt, dass die Lasertherapie tatsächlich eine Wirkung hat, die über den natürlichen Verlauf der Narbe hinausgeht. In zukünftigen Studien wäre es sicher sinnvoll, die Parameter der Hypo- und Hyperpigmentierung nach Behandlung als auch das Modul der sonografischen Bestimmung der Kollagenfasern mit in die Auswertung zu nehmen, um weitere

objektive Untersuchungsmethoden zu validieren und so die Narbenqualität nach Laserbehandlung besser einschätzen zu können.

9 LITERATURVERZEICHNIS

References

1. Deutsche Gesellschaft für Verbrennungsmedizin e.V. (DGV) (ed): *Verbrennungsregister Deutsche Gesellschaft für Verbrennungsmedizin: Jahresbericht 2019*. für den Zeitraum Jan 2015- Dez 2018, 2019
2. Königs I, Schiestl C: Narbenbehandlung. In: *Plastische Chirurgie bei Kindern und Jugendlichen*, edited by Schiestl C, Stark GB, Lenz Y, Neuhaus K, Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 2017, pp 149–160
3. Zuccaro J, Muser I, Singh M, Yu J, Kelly C, Fish J: Laser Therapy for Pediatric Burn Scars: Focusing on a Combined Treatment Approach. *Journal of burn care & research official publication of the American Burn Association* 39(3): 457–62, 2018
4. Hua W, Fan L-M, Dai R, Luan M, Xie H, Li A-Q, Li L: Comparison of two series of non-invasive instruments used for the skin physiological properties measurements: the DermaLab® from Cortex Technology vs. the series of detectors from Courage & Khazaka. *Skin research and technology official journal of International Society for Bioengineering and the Skin (ISBS) [and] International Society for Digital Imaging of Skin (ISDIS) [and] International Society for Skin Imaging (ISSI)* 23(1): 70–8, 2017
5. Aumüller G: *Anatomie: 208 Tabellen ; [mit CD-ROM zum Präp-Kurs]*, Stuttgart, Thieme, 2007
6. Lüllmann-Rauch R, Asan E: *Taschenlehrbuch Histologie*, 6th ed., Stuttgart, Thieme, 2019
7. Traupe H, Hamm H: *Pädiatrische Dermatologie*, 2nd ed., Berlin, Heidelberg, Springer Medizin Verlag Heidelberg, 2006
8. Kang S, Amagai M, Bruckner AL, Enk A, Margolis DJ, McMichael AJ, Orringer JS (eds): *Fitzpatrick's dermatology*, New York, Chicago, San Francisco, McGraw Hill Education, 2019
9. Mescher AL: *Junqueira's Basic Histology: Text and Atlas*, 15th ed., New York, N.Y., McGraw-Hill Education LLC, 2018
10. *Narbentherapie*, Urban & Fischer
11. Visscher MO: Skin Color and Pigmentation in Ethnic Skin. *Facial plastic surgery clinics of North America* 25(1): 119–25, 2017
12. Moll I (ed): *Dermatologie*, 8th ed., Stuttgart, Thieme, 2016
13. Fitzpatrick TB: The Validity and Practicality of Sun-Reactive Skin Types I Through VI. *Arch Dermatol* 124(6): 869, 1988
14. Staubach R, Mehlig U, Loff S: Thermische Verletzungen im Kindesalter. *Pädiatrie up2date* 16(02): 123–44, 2021
15. Königs I, Fattouh M: Management thermischer Verletzungen im Kindesalter. *Notf.med. up2date* 12(01): 95–111, 2017
16. Mehlig U, Hannmann T, Loff S: Thermische Verletzungen im Kindesalter. *Pädiatrie up2date* 5(01): 35–53, 2010
17. Fr. Dr. Ellerkamp (DGKCH, Kinderchirurgie - Tübingen), Hr. Dr. Lieber (Kinderchirurgie Tübingen), Hr. Dr. Königs (Kinderchirurgie - Hamburg), Prof. Reichert (DGPRAC, Plastische Chirurgie, Nürnberg), Hr. Dr. Möller (Plastische Chirurgie, Verbrennungsmedizin – Hamburg), Hr. Dr. Striepling (Plastische Chirurgie, Verbrennungsmedizin – Hamburg), Hr. D. Hartmann (DGV, Plastische Chirurgie, Verbrennungsmedizin – Berlin), Fr. Dr. Sinnig (AG das schwerbrandverletzte Kind, Kinderchirurgie – Hannover), Hr. Dr. Heimann (DGKJ,

- Pädiatrie – Aachen), Hr. Dr. Beckmann (Pädiatrie - Hamburg), Hr. Prof. Dr. Wessel (DGAI, Kinderchirurgie – Mannheim), Hr. Dr. Fischer (Kinderanästhesie – Kassel), Hr. Dr. Mücke (Kinderanästhesie –Hannover), Hr. Prof. Dr. Rennekampff (DGCH, Plastische Chirurgie Aachen), Fr. Gottwald (Paulinchen e.V. - Norderstedt), Fr. Dr. Purtscher-Penz (DeGPT, Kinder- und Jugendpsychiatrie – Graz), Fr. U. Hirsch (DVE, Ergotherapie - Ludwigshafen), Hr. T. Münch (Orthopädiotechnik - Duisburg), Fr. Zboril (DV Physio, Physiotherapie – Ludwigshafen), Fr. Dr. Märzheuser (Bundesarbeitsgemeinschaft mehr Sicherheit für Kinder, Kinderchirurgie - Berlin): *S2k-Leitlinie006-128:BehandlungthermischerVerletzungenimKindesalter(Verbrennungen, Verbrühungen*, 2015. Available at <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/006-128.html>
18. Shaw TJ, Martin P: Wound repair at a glance. *Journal of cell science* 122(Pt 18): 3209–13, 2009
 19. Vogt PM: *Praxis der Plastischen Chirurgie: Plastisch-rekonstruktive Operationen Plastisch-ästhetische Operationen Handchirurgie Verbrennungschirurgie*, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011
 20. Kobayashi H, Aiba S, Yoshino Y, Tagami H: Acute cutaneous barrier disruption activates epidermal p44/42 and p38 mitogen-activated protein kinases in human and hairless guinea pig skin. *Experimental dermatology* 12(6): 734–46, 2003
 21. Bahou WF, Gnatenko DV: Platelet transcriptome: the application of microarray analysis to platelets. *Seminars in thrombosis and hemostasis* 30(4): 473–84, 2004
 22. Shumaker PR (ed): *The scar book: Formation, mitigation, rehabilitation, and prevention*, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins a Wolters Kluwer business, 2017
 23. Yukami T, Hasegawa M, Matsushita Y, Fujita T, Matsushita T, Horikawa M, Komura K, Yanaba K, Hamaguchi Y, Nagaoka T, Ogawa F, Fujimoto M, Steeber DA, Tedder TF, Takehara K, Sato S: Endothelial selectins regulate skin wound healing in cooperation with L-selectin and ICAM-1. *Journal of leukocyte biology* 82(3): 519–31, 2007
 24. Asmussen PD, Söllner B: *Die Prinzipien der Wundheilung: Offizielles Lehrbuch zum Kurs Zertifizierter Wundmanager*, 2010
 25. Chai J, Tarnawski AS: Serum response factor: discovery, biochemistry, biological roles and implications for tissue injury healing. *Journal of physiology and pharmacology an official journal of the Polish Physiological Society* 53(2): 147–57, 2002
 26. Tonnesen MG, Feng X, Clark RA: Angiogenesis in wound healing. *The journal of investigative dermatology. Symposium proceedings* 5(1): 40–6, 2000
 27. Henne-Bruns D (ed): *Chirurgie: 292 Tabellen*, 4th ed., Stuttgart, Thieme, 2012
 28. Hinz B: Formation and function of the myofibroblast during tissue repair. *The Journal of investigative dermatology* 127(3): 526–37, 2007
 29. Nguyen BP, Gil SG, Carter WG: Deposition of laminin 5 by keratinocytes regulates integrin adhesion and signaling. *The Journal of biological chemistry* 275(41): 31896–907, 2000
 30. Berger A, Hierner R (eds): *Plastische Chirurgie: Band I Grundlagen Prinzipien Techniken*, Berlin, Heidelberg, s.l., Springer Berlin Heidelberg, 2003
 31. Osaka N, Takahashi T, Murakami S, Matsuzawa A, Noguchi T, Fujiwara T, Aburatani H, Moriyama K, Takeda K, Ichijo H: ASK1-dependent recruitment and activation of macrophages induce hair growth in skin wounds. *The Journal of cell biology* 176(7): 903–9, 2007

32. Morree JJ de: *Dynamik des menschlichen Bindegewebes: Funktion, Schädigung und Wiederherstellung*, 2nd ed., München, Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH, 2013
33. Larson BJ, Longaker MT, Lorenz HP: Scarless fetal wound healing: a basic science review. *Plastic and reconstructive surgery* 126(4): 1172–80, 2010
34. Ogawa R: Keloid and Hypertrophic Scars Are the Result of Chronic Inflammation in the Reticular Dermis. *International journal of molecular sciences* 18(3), 2017
35. Ray S, Ju X, Sun H, Finnerty CC, Herndon DN, Brasier AR: The IL-6 trans-signaling-STAT3 pathway mediates ECM and cellular proliferation in fibroblasts from hypertrophic scar. *The Journal of investigative dermatology* 133(5): 1212–20, 2013
36. Ogawa R, Akita S, Akaishi S, Aramaki-Hattori N, Dohi T, Hayashi T, Kishi K, Kono T, Matsumura H, Muneuchi G, Murao N, Nagao M, Okabe K, Shimizu F, Tosa M, Tosa Y, Yamawaki S, Ansai S, Inazu N, Kamo T, Kazki R, Kuribayashi S: Diagnosis and Treatment of Keloids and Hypertrophic Scars—Japan Scar Workshop Consensus Document 2018. *Burns & Trauma* 7, 2019
37. Raulin C, Karsai S: *Lasertherapie der Haut*, Berlin, Heidelberg, Springer, 2013
38. Deitch EA, Wheelahan TM, Rose MP, Clothier J, Cotter J: Hypertrophic burn scars: analysis of variables. *The Journal of trauma* 23(10): 895–8, 1983
39. Shih B, Bayat A: Genetics of keloid scarring. *Archives of dermatological research* 302(5): 319–39, 2010
40. Linares HA, Larson DL, Willis-Galstaun BA: Historical notes on the use of pressure in the treatment of hypertrophic scars or keloids. *Burns journal of the International Society for Burn Injuries* 19(1): 17–21, 1993
41. Wallace AF: Recent advances in the treatment of burns—1843–1858. *British Journal of Plastic Surgery* 40(2): 193–200, 1987
42. BAKER BL, WHITAKER WL: Interference with wound healing by the local action of adrenocortical steroids. *Endocrinology* 46(6): 544–51, 1950
43. Ketchum LD, Cohen IK, Masters FW: Hypertrophic scars and keloids. A collective review. *Plastic and reconstructive surgery* 53(2): 140–54, 1974
44. Ohmori S: Effectiveness of silastic sheet coverage in the treatment of scar keloid (hypertrophic scar). *Aesthetic plastic surgery* 12(2): 95–9, 1988
45. Thomsen M: Historical landmarks in the treatment of burns. *British Journal of Plastic Surgery* 30(3): 212–7, 1977
46. Orgill DP, Ogawa R: Current methods of burn reconstruction. *Plastic and reconstructive surgery* 131(5): 827e–36e, 2013
47. Des Fernandes: Percutaneous collagen induction: an alternative to laser resurfacing. *Aesthetic surgery journal* 22(3): 307–9, 2002
48. Aust MC, Knobloch K, Reimers K, Redeker J, Ipaktchi R, Altintas MA, Gohritz A, Schwaiger N, Vogt PM: Percutaneous collagen induction therapy: an alternative treatment for burn scars. *Burns journal of the International Society for Burn Injuries* 36(6): 836–43, 2010
49. Issler-Fisher AC, Waibel JS, Donelan MB: Laser Modulation of Hypertrophic Scars: Technique and Practice. *Clinics in plastic surgery* 44(4): 757–66, 2017
50. Seago M, Shumaker PR, Spring LK, Alam M, Al-Niaimi F, Rox Anderson R, Artzi O, Bayat A, Cassuto D, Chan HH, Dierickx C, Donelan M, Gauglitz GG, Leo Goo B, Goodman GJ, Gurtner G, Haedersdal M, Krakowski AC, Manuskiatti W, Norbury WB, Ogawa R, Ozog DM, Paasch U, Victor Ross E, Tretti Clementoni M, Waibel J: Laser Treatment of Traumatic Scars and Contractures: 2020 International Consensus Recommendations. *Lasers in surgery and medicine* 52(2): 96–116, 2020

51. Monstrey S, Middelkoop E, Vranckx JJ, Bassetto F, Ziegler UE, Meaume S, Téot L: Updated scar management practical guidelines: non-invasive and invasive measures. *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery JPRAS* 67(8): 1017–25, 2014
52. Friedstat JS, Hultman CS: Hypertrophic burn scar management: what does the evidence show? A systematic review of randomized controlled trials. *Annals of plastic surgery* 72(6): S198-201, 2014
53. Engrav LH, Heimbach DM, Rivara FP, Moore ML, Wang J, Carrougher GJ, Costa B, Numhom S, Calderon J, Gibran NS: 12-Year within-wound study of the effectiveness of custom pressure garment therapy. *Burns journal of the International Society for Burn Injuries* 36(7): 975–83, 2010
54. Staley MJ, Richard RL: Use of pressure to treat hypertrophic burn scars. *Advances in wound care the journal for prevention and healing* 10(3): 44–6, 1997
55. Macintyre L, Baird M: Pressure garments for use in the treatment of hypertrophic scars--a review of the problems associated with their use. *Burns journal of the International Society for Burn Injuries* 32(1): 10–5, 2006
56. Lee SM, Ngim CK, Chan YY, Ho MJ: A comparison of Sil-K and Epiderm in scar management. *Burns journal of the International Society for Burn Injuries* 22(6): 483–7, 1996
57. Mustoe TA: Evolution of silicone therapy and mechanism of action in scar management. *Aesthetic plastic surgery* 32(1): 82–92, 2008
58. Ault P, Plaza A, Paratz J: Scar massage for hypertrophic burns scarring-A systematic review. *Burns journal of the International Society for Burn Injuries* 44(1): 24–38, 2018
59. Cho YS, Jeon JH, Hong A, Yang HT, Yim H, Cho YS, Kim D-H, Hur J, Kim JH, Chun W, Lee BC, Seo CH: The effect of burn rehabilitation massage therapy on hypertrophic scar after burn: a randomized controlled trial. *Burns journal of the International Society for Burn Injuries* 40(8): 1513–20, 2014
60. Nedelec B, Couture M-A, Calva V, Poulin C, Chouinard A, Shashoua D, Gauthier N, Correa JA, Oliveira A de, Mazer B, LaSalle L: Randomized controlled trial of the immediate and long-term effect of massage on adult postburn scar. *Burns journal of the International Society for Burn Injuries* 45(1): 128–39, 2019
61. Khalid FA, Mehrose MY, Saleem M, Yousaf MA, Mujahid AM, Rehman SU, Ahmad S, Tarar MN: Comparison of efficacy and safety of intralesional triamcinolone and combination of triamcinolone with 5-fluorouracil in the treatment of keloids and hypertrophic scars: Randomised control trial. *Burns journal of the International Society for Burn Injuries* 45(1): 69–75, 2019
62. Berman B, Viera MH, Amini S, Huo R, Jones IS: Prevention and management of hypertrophic scars and keloids after burns in children. *The Journal of craniofacial surgery* 19(4): 989–1006, 2008
63. Darougheh A, Asilian A, Shariati F: Intralesional triamcinolone alone or in combination with 5-fluorouracil for the treatment of keloid and hypertrophic scars. *Clinical and experimental dermatology* 34(2): 219–23, 2009
64. Riccio M, Marchesini A, Senesi L, Skrami E, Gesuita R, Francesco F de: Managing Pathologic Scars by Injecting Auto-Cross-linked Hyaluronic Acid: A Preliminary Prospective Clinical Study. *Aesthetic plastic surgery* 43(2): 480–9, 2019
65. Aballay A, Hermans MHE: Neodermis Formation in Full Thickness Wounds Using an Esterified Hyaluronic Acid Matrix. *Journal of Burn Care & Research* 40(5): 585–9, 2019

66. Bao Y, Xu S, Pan Z, Deng J, Li X, Pan F, Li X: Comparative Efficacy and Safety of Common Therapies in Keloids and Hypertrophic Scars: A Systematic Review and Meta-analysis. *Aesthetic plastic surgery* 44(1): 207–18, 2020
67. Chen H-C, Yen C-I, Yang S-Y, Chang C-J, Yang J-Y, Chang S-Y, Chuang S-S, Hsiao Y-C: Comparison of Steroid and Botulinum Toxin Type A Monotherapy with Combination Therapy for Treating Human Hypertrophic Scars in an Animal Model. *Plastic and reconstructive surgery* 140(1): 43e-49e, 2017
68. O'Boyle CP, Shayan-Arani H, Hamada MW: Intralesional cryotherapy for hypertrophic scars and keloids: a review. *Scars, burns & healing* 3: 2059513117702162, 2017
69. Busch KH, Aliu A, Bender R, Walezko N, Aust MC: Medical Needling – Effekt auf hypertrophe Verbrennungsnarben hinsichtlich der Hautspannung und -elastizität. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefässe Organ der V...* 51(5): 384–93, 2019
70. Schweinitz Dv, Ure B: *Kinderchirurgie: Viszerale und allgemeine Chirurgie des Kindesalters*, 3rd ed., 2019
71. Goel A, Shrivastava P: Post-burn scars and scar contractures. *Indian journal of plastic surgery official publication of the Association of Plastic Surgeons of India* 43(Suppl): S63-71, 2010
72. Schiestl C, Stark GB, Lenz Y, Neuhaus K (eds): *Plastische Chirurgie bei Kindern und Jugendlichen*, Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 2017
73. Lohana P, Hassan S, Watson SB: Integra™ in burns reconstruction: Our experience and report of an unusual immunological reaction. *Annals of burns and fire disasters* 27(1): 17–21, 2014
74. Greenwood JE, Schmitt BJ, Wagstaff MJ: Experience with a synthetic bilayer Biodegradable Temporising Matrix in significant burn injury. *Burns Open* 2(1): 17–34, 2018
75. Dearman BL, Li A, Greenwood JE: Optimization of a polyurethane dermal matrix and experience with a polymer-based cultured composite skin. *Journal of Burn Care & Research* 35(5): 437–48, 2014
76. Brongo S, Nicoletti GF, La Padula S, Mele CM, D'Andrea F: Use of lipofilling for the treatment of severe burn outcomes. *Plastic and reconstructive surgery* 130(2): 374e-376e, 2012
77. Anderson RR, Parrish JA: Selective photothermolysis: precise microsurgery by selective absorption of pulsed radiation. *Science (New York, N. Y.)* 220(4596): 524–7, 1983
78. Willows BM, Ilyas M, Sharma A: Laser in the management of burn scars. *Burns journal of the International Society for Burn Injuries* 43(7): 1379–89, 2017
79. Bailey JK, Blackstone BN, DeBruler DM, Kim JY, Baumann ME, McFarland KL, Imeokparia FO, Supp DM, Powell HM: Effects of early combinatorial treatment of autologous split-thickness skin grafts in red duroc pig model using pulsed dye laser and fractional CO2 laser. *Lasers in surgery and medicine* 50(1): 78–87, 2018
80. Bach DQ, Garcia MS, Eisen DB: Hyperpigmented burn scar improved with a fractionated 1550 nm non-ablative laser. *Dermatology online journal* 18(7): 12, 2012
81. Ouyang H-W, Li G-F, Lei Y, Gold MH, Tan J: Comparison of the effectiveness of pulsed dye laser vs pulsed dye laser combined with ultrapulse fractional CO2

- laser in the treatment of immature red hypertrophic scars. *Journal of cosmetic dermatology* 17(1): 54–60, 2018
82. Parrett BM, Donelan MB: Pulsed dye laser in burn scars: current concepts and future directions. *Burns journal of the International Society for Burn Injuries* 36(4): 443–9, 2010
83. Allison K, Kiernan M, Waters R, Clement R: Pulsed dye laser treatment of burn scars. *Burns journal of the International Society for Burn Injuries* 29(3): 207–13, 2003
84. Hedelund L, Haak CS, Togsverd-Bo K, Bogh MK, Bjerring P, Haedersdal M: Fractional CO₂ laser resurfacing for atrophic acne scars: a randomized controlled trial with blinded response evaluation. *Lasers in surgery and medicine* 44(6): 447–52, 2012
85. Farkas JP, Richardson JA, Brown SA, Ticker B, Walgama E, Burrus CF, Hoopman JE, Barton FE, Kenkel JM: TUNEL assay to characterize acute histopathological injury following treatment with the active and deep FX fractional short-pulse CO₂ devices. *Aesthetic surgery journal* 30(4): 603–13, 2010
86. Patel SP, Nguyen HV, Mannschreck D, Redett RJ, Puttgen KB, Stewart FD: Fractional CO₂ Laser Treatment Outcomes for Pediatric Hypertrophic Burn Scars. *Journal of Burn Care & Research* 40(4): 386–91, 2019
87. Miletta N, Siwy K, Hivnor C, Clark J, Shofner J, Zurakowski D, Anderson RR, Lee K, Donelan M: Fractional Ablative Laser Therapy is an Effective Treatment for Hypertrophic Burn Scars: A Prospective Study of Objective and Subjective Outcomes. *Annals of surgery*, 2019
88. Levi B, Ibrahim A, Mathews K, Wojcik B, Gomez J, Fagan S, Austen WG, Goverman J: The Use of CO₂ Fractional Photothermolysis for the Treatment of Burn Scars. *Journal of Burn Care & Research* 37(2): 106–14, 2016
89. Wulkan AJ, Rudnick A, Badiavas E, Waibel JS: Treatment of Hypertrophic Burn and Traumatic Scars With a 2,940-nm Fractional Ablative Erbium-doped Yttrium Aluminium Garnet Laser: A Pilot Study. *Dermatologic surgery official publication for American Society for Dermatologic Surgery [et al.]*, 2019
90. Sullivan T, Smith J, Kermod J, McIver E, Courtemanche DJ: Rating the burn scar. *The Journal of burn care & rehabilitation* 11(3): 256–60, 1990
91. Chae JK, Kim JH, Kim EJ, Park K: Values of a Patient and Observer Scar Assessment Scale to Evaluate the Facial Skin Graft Scar. *Annals of dermatology* 28(5): 615–23, 2016
92. Draaijers LJ, Tempelman FRH, Botman YAM, Tuinebreijer WE, Middelkoop E, Kreis RW, van Zuijlen PPM: The patient and observer scar assessment scale: a reliable and feasible tool for scar evaluation. *Plastic and reconstructive surgery* 113(7): 1960-5; discussion 1966-7, 2004
93. Bullinger M: Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität mit dem SF-36 Health Survey. *Die Rehabilitation* 35(3): XVII-XXVII; quiz XXVII-XXIX, 1996
94. Morfeld M, Bullinger M: Der SF-36 Health Survey zur Erhebung und Dokumentation gesundheitsbezogener Lebensqualität. *Phys Rehab Kur Med* 18(05): 250–5, 2008
95. CORTEX TECHNOLOGY Smedevaenget 10 9560 Hadsund, Denmark: *DermaLab Series SkinLab Combo: Instruction Manual*. Instruction Manual SkinLab Z5010108 UK.docx, 2010
96. Peperkamp K, Verhulst AC, Tielemans HJP, Winters H, van Dalen D, Ulrich DJO: The inter-rater and test-retest reliability of skin thickness and skin elasticity measurements by the DermaLab Combo in healthy participants. *Skin research and technology official journal of International Society for Bioengineering and the*

- Skin (ISBS) [and] International Society for Digital Imaging of Skin (ISDIS) [and] International Society for Skin Imaging (ISSI)* 25(6): 787–92, 2019
97. Anthonissen M, Daly D, Fieuws S, Massagé P, van Brussel M, Vranckx J, van den Kerckhove E: Measurement of elasticity and transepidermal water loss rate of burn scars with the Dermalab®. *Burns journal of the International Society for Burn Injuries* 39(3): 420–8, 2013
98. Lee KC, Dretzke J, Grover L, Logan A, Moiemmen N: A systematic review of objective burn scar measurements. *Burns & Trauma* 4: 14, 2016
99. Raab-Steiner E, Benesch M: *Der Fragebogen: Von der Forschungsidee zur SPSS-Auswertung*, 1st ed., Wien, Facultas.wuv, 2008
100. Martens J: *Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows*, 2nd ed., München, Wien, Oldenbourg, 2003
101. Weiß C: *Basiswissen Medizinische Statistik*, Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 2013
102. Travis TE, Allely RA, Johnson LS, Shupp JW: A Single-Institution Experience With Standardized Objective and Subjective Scar Evaluation While Undergoing Fractional Ablative Carbon Dioxide Laser Treatment. *Journal of Burn Care & Research* 43(1): 61–9, 2022
103. Hultman CS, Friedstat JS, Edkins RE, Cairns BA, Meyer AA: Laser resurfacing and remodeling of hypertrophic burn scars: the results of a large, prospective, before-after cohort study, with long-term follow-up. *Annals of surgery* 260(3): 519-29; discussion 529-32, 2014
104. Tan J, Zhou J, Huang L, Fu Q, Ao M, Yuan L, Luo G: Hypertrophic Scar Improvement by Early Intervention With Ablative Fractional Carbon Dioxide Laser Treatment. *Lasers in surgery and medicine* 53(4): 450–7, 2021
105. Waibel JS, Gianatasio C, Rudnick A: Randomized, Controlled Early Intervention of Dynamic Mode Fractional Ablative CO2 Laser on Acute Burn Injuries for Prevention of Pathological Scarring. *Lasers in surgery and medicine* 52(2): 117–24, 2020
106. Alster T: Laser scar revision: comparison study of 585-nm pulsed dye laser with and without intralesional corticosteroids. *Dermatologic surgery official publication for American Society for Dermatologic Surgery [et al.]* 29(1): 25–9, 2003
107. Poetschke J, Dornseifer U, Clementoni MT, Reinholz M, Schwaiger H, Steckmeier S, Ruzicka T, Gauglitz GG: Ultrapulsed fractional ablative carbon dioxide laser treatment of hypertrophic burn scars: evaluation of an in-patient controlled, standardized treatment approach. *Lasers in medical science* 32(5): 1031–40, 2017
108. Żądkowski T, Nachulewicz P, Mazgaj M, Woźniak M, Cielecki C, Wieczorek AP, Beń-Skowronek I: A new CO2 laser technique for the treatment of pediatric hypertrophic burn scars: An observational study. *Medicine* 95(42): e5168, 2016
109. Blome-Eberwein S, Gogal C, Weiss MJ, Boorse D, Pagella P: Prospective Evaluation of Fractional CO2 Laser Treatment of Mature Burn Scars. *Journal of Burn Care & Research* 37(6): 379–87, 2016

Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden zur Veröffentlichung eingereicht bei: *Journal of Burn Care & Research* 2022: Staubach R, Glosse H, Loff S: A Single Institution Experience About Ten Years With Children Undergoing Fractional Ablative Carbon Dioxide Laser Treatment After Burns: Measurement of Air Pressure-Induced Skin Elevation and Retraction Time (DermaLab®) Including Standardized Subjective and Objective Scar Evaluation

10 ANHANG

1) Datenschutzerklärung und Fragebogen



**Olgahospital/Frauenklinik
Kinderchirurgische Klinik
Direktor: Prof. Dr. Steffan Loff**
Telefon: 0711 278-73022
Telefax: 0711 278-73039

Patienten- und Elterninformation

Sehr geehrte Eltern, lieber Patient,

Ihr Kind/ Sie wurde/n zwischen dem 01.01.2012 bis heute aufgrund von Verbrennungsnarben operativ gelasert.

Dies wollen wir zum Anlass nehmen und Sie einladen mit Ihrem Kind bzw. dass Sie an einer Studie teilzunehmen/teilnehmen, die verschiedene Aspekte in Bezug auf die damalige Operation, als auch auf das Ergebnis bis heute, erfasst.

Bitte lesen Sie dieses Informationsblatt aufmerksam durch und sprechen Sie mit Ihren Angehörigen über die potenzielle Teilnahme an der Studie. Sie können uns jederzeit kontaktieren, um weitere Informationen zu erhalten und Fragen zu stellen. Sollten Sie nicht an der Studie teilnehmen wollen, hat dies keinen Einfluss auf die weitere medizinische Versorgung Ihres Kindes oder von Ihnen. Ebenfalls können Sie Ihre Zusage zu jeder Zeit ohne eine Angabe von Gründen zurückziehen.

Warum wird die Studie durchgeführt?

Die Studie liefert einen Beitrag zur aktuellen Verbrennungsnachsorge. Dabei wird die aktuelle medizinische Versorgung und die Wirksamkeit des Therapiekonzeptes bei schwerverbrannten Kindern geprüft, bewertet und nach Möglichkeit anhand der Ergebnisse verbessert. Ziel der Studie ist die Verbesserung bis hin zur Standardisierung der Narbentherapie.

Welcher Nutzen ergibt sich für mein Kind/ für mich aus der Teilnahme?

Ihr Kind wird/ Sie werden keinen unmittelbaren Vorteil durch die Teilnahme an der Studie und durch die Auswertung der Informationen haben. Allerdings kann nur durch eine solche Datenerfassung und -auswertung in der Zukunft die Beratung von Eltern und die Behandlung der Patienten verbessert werden.

Wer hat Zugang zu Ihren Daten?

Die erhobenen Daten werden streng vertraulich und unter Einhaltung der ärztlichen Schweigepflicht behandelt. Ihre persönlichen Daten bzw. die Daten Ihres Kindes werden mittels Fallnummer erfasst, d.h. Rückschlüsse auf Ihre Person bzw. auf Ihr Kind sind nur durch die Mitarbeiter der Zentren möglich, die Zugriff auf die Datenbank haben. Diese Re-Identifizierung ist wichtig, da sich nur so die individuellen Krankheitsmerkmale in Bezug zu den klinischen Merkmalen setzen lassen. Daten werden nur von Personen, die die Studie ausführen und die Sicherheit überwachen, eingesehen.

Es werden keinerlei individualisierte Daten an Dritte weitergegeben.

Die Ergebnisse der Studie werden unter anderem im Rahmen einer Publikation und einer Promotionsarbeit veröffentlicht.

Was beinhaltet das Widerrufsrecht?

Sie haben jederzeit die Möglichkeit, Ihre Einwilligung ohne Angabe von Gründen zu widerrufen.

Ihr Widerruf gilt ab dem Zeitpunkt, zu dem Sie diesen schriftlich angeben. Er hat keine Rückwirkung. Die Verarbeitung Ihrer Daten bis zu diesem Zeitpunkt bleibt rechtmäßig. Sie sind gemäß Art. 15 DSGVO jederzeit berechtigt um umfangreiche Auskunftserteilung zu den zu Ihrer Person bzw. der Person Ihres Kindes gespeicherten Daten zu ersuchen. Gemäß den Bestimmungen nach Art.16, Art.17 und Art.18 DSGVO können Sie jederzeit die Berichtigung, Löschung oder Einschränkung der Verarbeitung respektive die Sperrung einzelner personenbezogener Daten verlangen. Mit Ihrer schriftlichen Einwilligungserklärung erlauben Sie uns, Daten von Ihnen und Ihrem Kind zu erheben. Ihre Daten werden verschlüsselt, so dass nur an der Studie beteiligte Mitarbeiter an den einzelnen Zentren auf Ihre Person rückschließen können.

Einwilligungserklärung zur Erhebung von epidemiologischen und klinischen Daten in Bezug auf die Lasertherapien bei Narben nach thermischer Verletzung

Ich habe verstanden, dass meine Einwilligung bezüglich der Teilnahme meines Kindes an der Studie vollkommen freiwillig ist und dass ich diese Einwilligung jederzeit und ohne die Nennung von Gründen widerrufen kann.

Mir ist weiterhin bekannt, dass meinem Kind keine Nachteile entstehen, sollte ich nicht in die Datenerhebung einwilligen oder die Einwilligung widerrufen.

Ich bestätige, dass ich ausreichend Bedenkzeit hatte und verstanden habe, worum es in der Studie geht (u.a.: Studienziel, Inhalt, Zweck) und welche Daten erfasst werden. Etwaige Fragen meinerseits wurden im Vorfeld gestellt und beantwortet.

Über die strenge Vertraulichkeit mit der meine Daten und die Daten meines Kindes behandelt werden, bin ich ausreichend informiert.

Datenschutz

Mir ist bekannt, dass bei dieser Studie personenbezogene Daten verarbeitet werden sollen. Die Verarbeitung der Daten erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen und setzt gemäß Art. 6 Abs. 1 lit. a der Datenschutz-Grundverordnung folgende Einwilligungserklärung voraus:

Ich wurde darüber aufgeklärt und stimme freiwillig zu, dass meine in der Studie erhobenen Daten bzw. die Daten meines Kindes, insbesondere Angaben über die Gesundheit, zu den in der Informationsschrift beschriebenen Zwecken in pseudonymisierter Form aufgezeichnet, ausgewertet und ggf. nur in

pseudonymisierter Form an kooperierende Universitäten und Kliniken weitergegeben werden können. Dritte erhalten keinen Einblick in personenbezogene Unterlagen.

Bei der Veröffentlichung von Ergebnissen der Studie wird mein Name ebenfalls nicht genannt. Die Daten werden nach Studienabschluss für 15 Jahre aufbewahrt.

Mir ist bekannt, dass diese Einwilligung jederzeit schriftlich oder mündlich ohne Angabe von Gründen widerrufen werden kann, ohne dass mir oder meinem Kind dadurch Nachteile entstehen. Die Rechtmäßigkeit, der bis zum Widerruf erfolgten Datenverarbeitung wird davon nicht berührt.

Die Patienteninformation und eine Kopie der Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Die Einwilligungserklärung verbleibt im Klinikum Stuttgart/Olgahospital, Kinderchirurgische Klinik, Kriegsbergstraße 60, 70174 Stuttgart.

Vor- und Nachname des Kindes/ des Patienten:

Unterschrift/en Patient/ Eltern
(Eltern: Mutter und Vater) : _____

Ggf. gesetzlicher Vertreter: _____

Ort: __ Datum: ____

Name des Arztes (Druckschrift):

Unterschrift der Klinik des Arztes:

Fragebogen zur Auswertung der Zufriedenheit nach Lasertherapie bei Verbrennungsnarben Allgemeines:

Name der/s Patientin/en
Geburtstag
Geschlecht
Unfalltag
Laserbeginn nach Unfall in Monaten

Wie viele Laserungen wurden durchgeführt?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8

Beurteilung der Narbenentwicklung durch Patienten/Eltern:

	mehr	Keine Änderung	weniger
Rötung			
Dehnbarkeit			
Dicke			
Juckreiz			

	Ja	nein
Hypopigmentierung		
Hyperpigmentierung		

Offene Wunde nach Lasersitzung		
--------------------------------	--	--

Sind die mit dem Ergebnis nach Laserung zufrieden?

JA NEIN

Würden Sie sich bzw. Ihr Kind erneut lasern lassen?

JA NEIN

Fragen zum Gesundheitszustand - SF36-Fragebogen zum Gesundheitszustand Wie würden Sie Ihren Gesundheitszustand im Allgemeinen beschreiben?

Ausgezeichnet (1)

Sehr gut (2)

Gut (3)

Weniger gut (4)

Schlecht (5)

Im Vergleich zum vergangenen Jahr, wie würden Sie Ihren oder bzw. Ihres Kindes derzeitigen Gesundheitszustand beschreiben?

Derzeit viel besser als vor einem Jahr (1)

Derzeit etwas besser als vor einem Jahr (2)

Etwa so wie vor einem Jahr (3)

Derzeit etwas schlechter als vor einem Jahr (4)

Derzeit viel schlechter als vor einem Jahr (5)

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

a. Anstrengende Tätigkeiten, z.B. schnell laufen, schwere Gegenstände heben

ja, stark eingeschränkt (1)

ja, etwas eingeschränkt (2)

nein, überhaupt nicht eingeschränkt (3)

b. Mittelschwere Tätigkeiten, z.B. einen Tisch verschieben, staubsaugen

- ja, stark eingeschränkt (1)
- ja, etwas eingeschränkt (2)
- nein, überhaupt nicht eingeschränkt (3)

c. Einkaufstaschen heben oder tragen

- ja, stark eingeschränkt (1)
- ja, etwas eingeschränkt (2)
- nein, überhaupt nicht eingeschränkt (3)

d. Mehrere Treppen steigen

- ja, stark eingeschränkt (1)
- ja, etwas eingeschränkt (2)
- nein, überhaupt nicht eingeschränkt (3)

e. Eine Stufe steigen

- ja, stark eingeschränkt (1)
- ja, etwas eingeschränkt (2)
- nein, überhaupt nicht eingeschränkt (3)

f. Sich beugen, knien, bücken

- ja, stark eingeschränkt (1)
- ja, etwas eingeschränkt (2)
- nein, überhaupt nicht eingeschränkt (3)

g. Mehr als einen Kilometer zu Fuß gehen

- ja, stark eingeschränkt (1)
- ja, etwas eingeschränkt (2)

nein, überhaupt nicht eingeschränkt (3)

h. Mehrere Straßenkreuzungen weit zu Fuß gehen

ja, stark eingeschränkt (1)

ja, etwas eingeschränkt (2)

nein, überhaupt nicht eingeschränkt (3)

i. Eine Straßenkreuzung weit zu Fuß gehen

ja, stark eingeschränkt (1)

ja, etwas eingeschränkt (2)

nein, überhaupt nicht eingeschränkt (3)

j. Sich baden oder anziehen

ja, stark eingeschränkt (1)

ja, etwas eingeschränkt (2)

nein, überhaupt nicht eingeschränkt (3)

Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund Ihrer körperlichen Gesundheit irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause?

a. Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein

Ja (1)

Nein (2)

b. Ich habe weniger geschafft als ich wollte

Ja (1)

Nein (2)

c. Ich konnte nur bestimmte Dinge tun

Ja (1)

Nein (2)

d. Ich hatte Schwierigkeiten bei der Ausführung

- Ja (1)
Nein (2)

Hatten Sie in den vergangenen vier Wochen aufgrund seelischer Probleme irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause (z.B. weil Sie sich niedergeschlagen oder ängstlich fühlen)?

a. Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein

- Ja (1)
Nein (2)

b. Ich habe weniger geschafft, als ich wollte

- Ja (1)
Nein (2)

c. Ich konnte nicht so sorgfältig wie üblich arbeiten

- Ja (1)
Nein (2)

Wie sehr haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelischen Probleme in den vergangenen vier Wochen ihre normalen Kontakte zu Familienangehörigen, Freunden, Nachbarn oder zum Bekanntenkreis beeinträchtigt?

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

Wie stark waren Ihre Schmerzen in den vergangenen vier Wochen?

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

Inwieweit haben die Schmerzen Sie in den vergangenen vier Wochen bei der Ausübung Ihrer Alltagstätigkeiten zu Hause und im Beruf behindert?

- | | | |
|-----------------|-----|--------------------------|
| Überhaupt nicht | (1) | <input type="checkbox"/> |
| Etwas | (2) | <input type="checkbox"/> |
| Mäßig | (3) | <input type="checkbox"/> |
| Ziemlich | (4) | <input type="checkbox"/> |
| Sehr | (5) | <input type="checkbox"/> |

Wie oft waren Sie in den letzten vier Wochen... (1-6)

a. ...voller Schwung?

- immer meistens ziemlich oft manchmal selten nie

b Sehr nervös?

- immer meistens ziemlich oft manchmal selten nie

c ... so niedergeschlagen, dass Sie nichts aufheitern konnte?

- immer meistens ziemlich oft manchmal selten nie

d So ruhig und gelassen?

- immer meistens ziemlich oft manchmal selten nie

e Voller Energie?

- immer meistens ziemlich oft manchmal selten nie

f ...entmutigt und traurig?

- immer meistens ziemlich oft manchmal selten nie

g ... erschöpft?

- immer meistens ziemlich oft manchmal selten nie

h glücklich?

- immer meistens ziemlich oft manchmal selten nie

imüde?

- immer meistens ziemlich oft manchmal selten nie

Wie häufig haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelische Probleme in den vergangenen vier Wochen Ihre Kontakte zu den anderen Menschen (Besuche bei Freunden, Verwandte usw.) beeinträchtigt?

- | | | |
|----------|-----|--------------------------|
| Immer | (1) | <input type="checkbox"/> |
| Meistens | (2) | <input type="checkbox"/> |
| Manchmal | (3) | <input type="checkbox"/> |

Selten (4)

Nie (5)

Inwieweit trifft jede der folgenden Aussagen auf Sie zu?

a. Ich scheine etwas leichter als andere krank zu werden

Trifft ganz zu (1)

Trifft weitgehend zu (2)

Weiß nicht (3)

Trifft weitgehend nicht zu (4)

Trifft überhaupt nicht zu (5)

b. Ich bin genauso gesund, wie alle anderen, die ich kenne

Trifft ganz zu (1)

Trifft weitgehend zu (2)

Weiß nicht (3)

Trifft weitgehend nicht zu (4)

Trifft überhaupt nicht zu (5)

c. Ich erwarte, dass meine Gesundheit nachlässt

Trifft ganz zu (1)

Trifft weitgehend zu (2)

Weiß nicht (3)

Trifft weitgehend nicht zu (4)

Trifft überhaupt nicht zu (5)

d. Ich erfreue mich ausgezeichneter Gesundheit

Trifft ganz zu (1)

Trifft weitgehend zu (2)

Weiß nicht (3)

Trifft weitgehend nicht zu (4)

Trifft überhaupt nicht zu (5)

Herzlichen Dank für die Teilnahme an der Studie.

2) VSS und POSAS

VANCOUVER SCAR SCALE (VSS)

Diagnose:

Patientenaufkleber

Betroffenes Areal:

1. Pigmentierung (2 Punkte)

normal (0) Hypopigmentierung (1) Hyperpigmentierung (2)

2. Höhe (3 Punkte)

im umgebenden Hautniveau (0) unter 2mm (1) 2-5mm (2) >5mm (3)

3. Dehnbarkeit (5 Punkte)

normal (0) geschmeidig (1) nachgiebig (2) derb (3) hart (4) kontrakt (5)

4. Durchblutung (3 Punkte)

normal (0) rosa (1) rot (2) livide/blau (3)

GESAMTSCORE: / 13

Unterschrift | Datum:

POSAS Beobachterskala

The Patient and Observer Scar Assessment Scale v2.0 / DE
Datum der Untersuchung:

Beobachter:

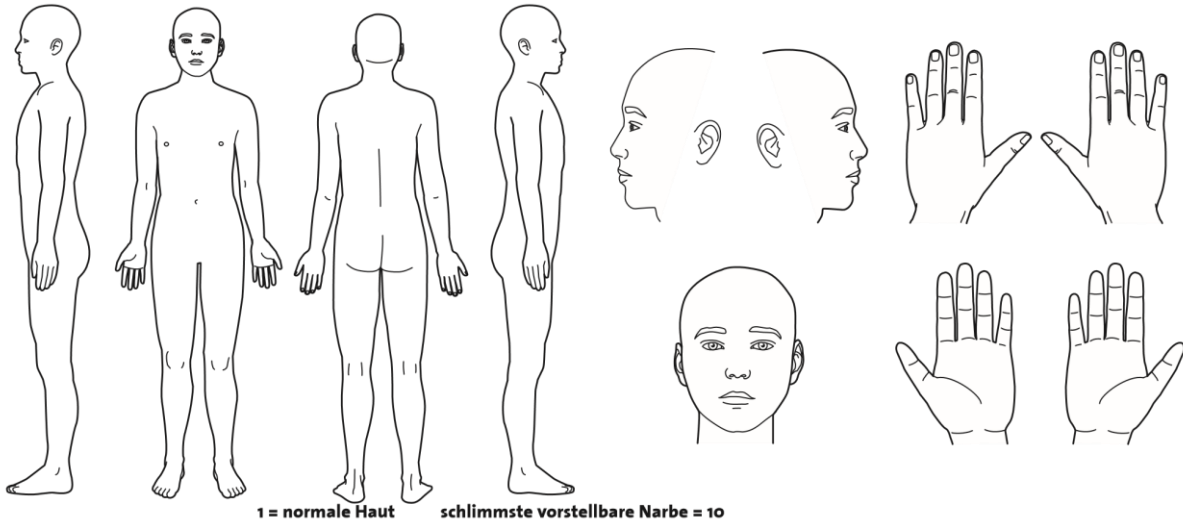
Ort der Narbe:

Forschungsprojekt / Studie:

Name des Patienten / der Patientin:

Geburtsdatum:

Identifikationsnummer:



PARAMETER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	KATEGORIE
VASKULARITÄT	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	BLASS ROSA ROT VIOLETT GEMISCHT
PIGMENTIERUNG	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	HYPO HYPER GEMISCHT
DICKE	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	DICKER DÜNNER
RELIEF	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	MEHR WENIGER GEMISCHT
GESCHMEIDIGKEIT	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	GESCHMEIDIG STEIF GEMISCHT
AUSDEHNUNG	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	EXPANSION KONTRAKTION GEMISCHT
GESAMTEINDRUCK	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Erläuterung

Die POSAS-Beobachterskala besteht aus sechs Parametern (Vaskularität, Pigmentierung, Dicke, Relief, Geschmeidigkeit und Ausdehnung). Alle Parameter werden auf einer Skala von 1 ("wie normale Haut") bis 10 ("schlimmste vorstellbare Narbe") bewertet.

Die Summe der sechs Parameter ergibt den POSAS-Beobachter-Gesamtwert. Für jeden Parameter gibt es verschiedene Kategorien. Ferner wird eine Gesamtbewertung auf einer Skala von 1 bis 10 vorgenommen. Alle Parameter sollten möglichst mit normaler Haut an einer vergleichbaren Körperstelle verglichen werden.

Erläuterungen zu den Parametern:

- **vaskularität** Das Vorhandensein von Gefäßen im Narbengewebe wird nach dem Rötungsgrad beurteilt und anhand des Blutrückstroms nach Weißfärbung mit einem Stück Plexiglas getestet.
- **pigmentierung** Durch Pigmente (Melanin) verursachte bräunliche Färbung der Narbe. Legen Sie ein Stück Plexiglas mit mäßigem Druck auf die Haut, um die Wirkung der Vaskularität aufzuheben.
- **dicke** Die durchschnittliche Entfernung von der Grenze zwischen Subcutis und Dermis
- **relief** Das Ausmaß, in dem Oberflächenunregelmäßigkeiten vorhanden sind (vorzugsweise im Vergleich zur angrenzenden normalen Haut).
- **geschmeidigkeit** Elastizität der Narbe anhand eines Hautfaltentests durch Zusammendrücken der Narbe zwischen Daumen und Zeigefinger.
- **ausdehnung** Größe der Narbenfläche im Vergleich zum ursprünglichen Wundbereich.

POSAS Patientenskale

The Patient and Observer Scar Assessment Scale v2.0 / DE

Datum der Untersuchung: _____

Name des Patienten / der Patientin: _____

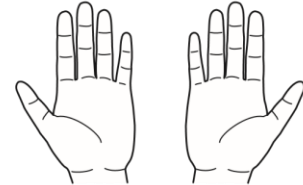
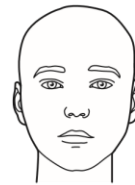
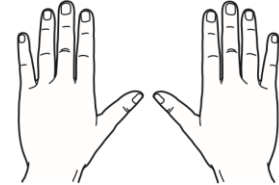
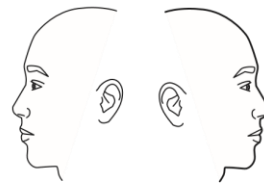
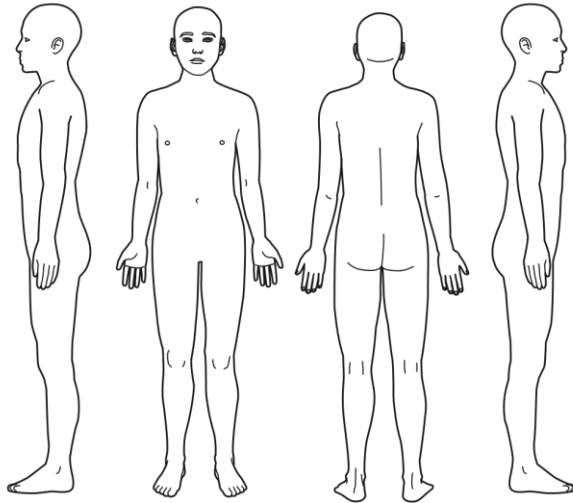
Beobachter: _____

Geburtsdatum: _____

Ort der Narbe: _____

Identifikationsnummer: _____

Forschungsprojekt / Studie: _____



1 = nein, überhaupt nicht

ja, sehr = 10



hat die narbe in den vergangenen paar wochen schmerzen verursacht?



hat die narbe in den vergangenen paar wochen geiuckt?



1 = nein, wie normale Haut, sehr unterschiedlich = 10

ja, sehr = 10



unterscheidet sich die farbe der narbe zurzeit von der farbe ihrer normalen haut?



unterscheidet sich die steifheit der narbe zurzeit von ihrer normalen haut?



unterscheidet sich die dicke der narbe zurzeit von ihrer normalen haut?



ist die oberfläche der narbe zurzeit unregelmäßig im vergleich zu ihrer normalen haut?



was ist ihr allgemeiner eindruck von der narbe im vergleich zur normalen haut?



3) Statistische Analysen

Allgemeine Patientendaten

Variable	N	Minimum	Median	Mittelwert	Maximum	Std.abw.
Alter_Unfall	75	1.00	3.00	4.87	17.00	4.27
Alter_1_Laser	77	1.00	6.00	7.94	23.00	5.45
KOF_in_Prozent	78	0.30	12.50	16.40	60.00	14.79
Zeit_n_Monat_Unfall	53	2.00	19.00	44.92	228.00	58.01
Anzahl_Laserungen	53	1.00	2.00	2.26	10.00	1.70
Roetung	53	1.00	3.00	2.43	3.00	0.64
Dehnbarkeit	53	1.00	1.00	1.38	3.00	0.63
Dicke	53	1.00	3.00	2.55	3.00	0.67
Juckreiz	53	1.00	2.00	2.32	3.00	0.55

Auswertung Fragebogen

Roetung	Häufigkeit	Prozent	Kumuliert Häufigkeit	Kumuliert Prozent
1	4	7.55	4	7.55
2	22	41.51	26	49.06
3	27	50.94	53	100.00

Dehnbarkeit	Häufigkeit	Prozent	Kumuliert Häufigkeit	Kumuliert Prozent
1	37	69.81	37	69.81
2	12	22.64	49	92.45
3	4	7.55	53	100.00

Dicke	Häufigkeit	Prozent	Kumuliert Häufigkeit	Kumuliert Prozent
1	5	9.43	5	9.43
2	14	26.42	19	35.85
3	34	64.15	53	100.00

Juckreiz	Häufigkeit	Prozent	Kumuliert Häufigkeit	Kumuliert Prozent
1	2	3.77	2	3.77
2	32	60.38	34	64.15
3	19	35.85	53	100.00

SF-36 Vergleich mit Normpopulation Welch`s t-test

	m1	m2	n1	n2	p-wert
KÖFU	82.2	94.5	2359	53	<0.0001
KÖRo	79.1	95.9	2352	53	<0.0001
KÖSZ	75.7	90.8	2356	53	<0.0001
AGES	64.2	89.3	2363	53	<0.0001
VITA	61.5	80.1	2338	53	<0.0001
SOFU	87.5	82.5	2361	53	0.0390
EMRO	87.6	96.2	2350	53	0.0003
PSYC	73	85.3	2350	53	<0.0001

VSS- Auswertung

Variable	Minimum	Median	Mittelwert	Maximum	Std.abw.
Pigmentierung_VSS_vor_Laser	0.00	0.00	0.57	3.00	0.92
Hoehe_VSS_vor_Laser	1.00	2.00	2.23	3.00	0.49
Dehnbarkeit_VSS_vor_Laser	1.00	3.00	2.94	5.00	0.80
Durchblutung_VSS_vor_Laser	0.00	1.00	1.34	2.00	0.68
Total_VSS_vor_Laser	3.00	7.00	6.94	10.00	1.86
Pigmentierung_VSS_nach_1Laser	0.00	0.00	0.49	2.00	0.82
Hoehe_VSS_nach_1Laser	1.00	2.00	2.00	3.00	0.59
Dehnbarkeit_VSS_nach_1Laser	1.00	2.00	2.14	3.00	0.65
Durchblutung_VSS_nach_1Laser	0.00	1.00	1.20	2.00	0.63
Total_VSS_nach_1Laser	3.00	5.00	5.71	9.00	1.67
Pigmentierung_VSS_nach_2Laser	0.00	0.00	0.59	2.00	0.87
Hoehe_VSS_nach_2Laser	1.00	2.00	1.88	3.00	0.49
Dehnbarkeit_VSS_nach_2Laser	1.00	2.00	1.65	3.00	0.61
Durchblutung_VSS_nach_2Laser	0.00	1.00	0.94	2.00	0.56
Total_VSS_nach_2Laser	2.00	5.00	4.94	9.00	1.71

Spearman'sche Korrelationskoeffizienten Prob > r unter H0: Rho=0		
	Total_VSS_nach_1Laser	Total_VSS_nach_2Laser
Total_VSS_vor_Laser	0.86731 <.0001	0.75653 0.0004

Tests auf Lageparameter: Mu0=0				
Test	Statistik		p-Wert	
Studentisches t	t	7.472032	Pr > t	<.0001
Vorzeichen	M	14	Pr >= M	<.0001
Vorzeichen-Rang	S	203	Pr >= S	<.0001

POSAS – Auswertung

Variable	Minimum	Median	Mittelwert	Maximum	Std.abw.
Vaskularitaet_Obs_vor_Laser	2.00	3.00	3.14	5.00	0.88
Pigmentierung_Obs_vor_Laser	2.00	3.00	3.26	6.00	1.04
Dicke_Obs_vor_Laser	5.00	6.00	6.57	10.00	1.14
Relief_Obs_vor_Laser	5.00	7.00	7.03	10.00	1.07
Geschmeidigkeit_Obs_vor_Laser	4.00	7.00	6.77	10.00	1.26
Ausdehnung_Obs_vor_Laser	4.00	6.00	5.83	8.00	1.29
Gesamtbild_Obs_vor_Laser	4.00	7.00	6.49	10.00	1.12
Vaskularitaet_Pat_vor_Laser	2.00	3.00	3.49	7.00	1.15
Pigmentierung_Pat_vor_Laser	2.00	4.00	3.66	7.00	1.11
Dicke_Pat_vor_Laser	4.00	7.00	6.71	10.00	1.30
Relief_Pat_vor_Laser	4.00	7.00	6.71	10.00	1.25
Geschmeidigkeit_Pat_vor_Laser	5.00	7.00	6.97	10.00	1.18
Ausdehnung_Pat_vor_Laser	4.00	6.00	6.11	10.00	1.37
Gesamtbild_Pat_vor_Laser	5.00	7.00	6.63	10.00	1.00
Vaskularitaet_Obs_nach_1Laser	2.00	3.00	3.03	5.00	0.79
Pigmentierung_Obs_nach_1Laser	2.00	3.00	3.09	5.00	0.85
Dicke_Obs_nach_1Laser	4.00	6.00	5.91	10.00	1.34
Relief_Obs_nach_1Laser	4.00	6.00	6.11	9.00	1.02
Geschmeidigkeit_Obs_nach_1Laser	4.00	5.00	5.06	8.00	1.00
Ausdehnung_Obs_nach_1Laser	4.00	6.00	5.74	8.00	1.24
Gesamtbild_Obs_nach_1Laser	4.00	6.00	5.86	10.00	1.14
Vaskularitaet_Pat_nach_1Laser	2.00	3.00	3.26	6.00	0.95
Pigmentierung_Pat_nach_1Laser	2.00	3.00	3.37	7.00	1.03
Dicke_Pat_nach_1Laser	4.00	6.00	6.00	9.00	1.21
Relief_Pat_nach_1Laser	4.00	6.00	5.83	10.00	1.20
Geschmeidigkeit_Pat_nach_1Laser	3.00	5.00	5.00	9.00	1.26
Ausdehnung_Pat_nach_1Laser	4.00	6.00	6.00	10.00	1.37
Gesamtbild_Pat_nach_1Laser	5.00	6.00	6.31	10.00	0.99
Vaskularitaet_Obs_nach_2Laser	2.00	3.00	3.12	5.00	0.86
Pigmentierung_Obs_nach_2Laser	2.00	3.00	3.24	5.00	0.83
Dicke_Obs_nach_2Laser	3.00	5.00	5.18	9.00	1.29
Relief_Obs_nach_2Laser	3.00	4.00	4.76	8.00	1.20
Geschmeidigkeit_Obs_nach_2Laser	3.00	3.00	3.76	7.00	1.09
Ausdehnung_Obs_nach_2Laser	4.00	5.00	5.29	8.00	1.16
Gesamtbild_Obs_nach_2Laser	3.00	5.00	5.12	9.00	1.36
Vaskularitaet_Pat_nach_2Laser	2.00	3.00	3.18	4.00	0.73
Pigmentierung_Pat_nach_2Laser	2.00	3.00	2.94	4.00	0.75
Dicke_Pat_nach_2Laser	4.00	5.00	4.94	9.00	1.20
Relief_Pat_nach_2Laser	2.00	4.00	4.35	8.00	1.32
Geschmeidigkeit_Pat_nach_2Laser	2.00	3.00	3.76	7.00	1.35
Ausdehnung_Pat_nach_2Laser	3.00	5.00	5.35	9.00	1.27
Gesamtbild_Pat_nach_2Laser	4.00	5.00	5.59	10.00	1.37

Spearman'sche Korrelationskoeffizienten Prob > r unter H0: Rho=0		
	Juckreiz_Pat_nach_1Laser	Juckreiz_Pat_nach_2Laser
Juckreiz_Pat_vor_Laser	0.68466 <.0001	0.21484 0.4076

Retraktionszeitmessungen

Variable	N	Minimum	Median	Mittelwert	Maximum	Std.abw.
Retraktion_gesunde_Haut	42	120.00	149.00	154.76	245.00	25.34
VE_gesund	42	3.00	6.95	7.05	12.70	2.23
R_vor_Laser	42	85.00	110.00	114.33	164.00	16.69
VE_vor_Laser	42	7.70	13.55	16.79	61.80	9.66
Retraktion_Narbe_nach_Laser	41	95.00	125.00	130.12	273.00	27.89
VE_Narbe_nach_Laser	41	3.60	12.20	12.59	28.40	4.83
Retraktion_nach_2_Laser	20	109.00	128.00	133.20	176.00	18.81
VE_nach_2_Laser	20	7.00	10.35	12.13	27.60	5.45
Retraktion_nach_3_Laser	8	115.00	130.50	136.63	180.00	19.62
VE_nach_3_Laser	8	7.20	10.05	10.23	14.00	2.53
						.
						.
						.

Korrelationen DermaLab® - VSS

Spearmanische Korrelationskoeffizienten Prob > r unter H0: Rho=0	
	Dehnbarkeit_VSS_vor_Laser
R_vor_Laser	-0.35817 0.0346

Spearmanische Korrelationskoeffizienten Prob > r unter H0: Rho=0	
	Dehnbarkeit_VSS_nach_1Laser
Retraktion_Narbe_nach_Laser	-0.41304 0.0137

Tests auf Lageparameter: Mu0=0				
Test	Statistik		p-Wert	
Studentisches t	t	6.987168	Pr > t	<.0001
Vorzeichen	M	11.5	Pr >= M	<.0001
Vorzeichen-Rang	S	138	Pr >= S	<.0001

Korrelationen DermaLab® - POSAS

Spearman'sche Korrelationskoeffizienten Prob > r unter H0: Rho=0		
	Geschmeidigkeit_Obs_vor_Laser	Geschmeidigkeit_Pat_vor_Laser
R_vor_Laser	-0.42273 0.0114	-0.34034 0.0454

Spearman'sche Korrelationskoeffizienten Prob > r unter H0: Rho=0		
	Geschmeidigkeit_Obs_n_1La ser	Geschmeidigkeit_Pat_n_ 1Laser
Retraktion_Narbe_ nach_Laser	-0.49421 0.0025	-0.08362 0.633

11 LEBENS LAUF

PERSONALIEN

Name	Helen Glosse
Geburtsdatum	28.05.1988
Geburtsort	Leinefelde
Staatsangehörigkeit	Deutsch
Familienstand	ledig

SCHULISCHER WERDEGANG

1999- 2007	Bergschule St. Elisabeth, Katholisches Gymnasium Heilbad Heiligenstadt Abschluss: Abitur
1995-1999	Grundschule Wingerode

STUDIUM

2015	Staatsexamen Humanmedizin Approbation 06/2015
2010	Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (M1)
2008 - 2015	Studium Humanmedizin, Georg-August-Universität Göttingen

BERUFLICHE DATEN

06/2020 - 01/2021	Rotation Kinderorthopädie Klinikum Stuttgart/Olgahospital
01/2018 - 06/2018	Rotation in die interdisziplinäre Intensivmedizin, Klinikum Stuttgart, Krankenhaus Bad Cannstatt
05/2017	Hospitation Kinderurologie, Ordensklinikum Linz, Barmherzige Schwestern
2017	Rotation in die Kinder- und Jugendmedizin im Klinikum Stuttgart/Olgahospital

2016	Rotation in die Kinder- und Jugendmedizin im Klinikum Stuttgart/Olgahospital
Seit 2015	Weiterbildung zur Fachärztin in der Kinderchirurgie im Klinikum Stuttgart/Olgahospital
2007-2008	Ausbildung zur Gesundheits- und Krankenpflegerin, Eichsfeld Klinikum

FREMDSPRACHEN

Englisch	gute Kenntnisse in Wort und Schrift
Latein	8 Schuljahre

12 DANKSAGUNG

Hiermit möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Loff, dem Ärztlichen Direktor der Kinderchirurgie im Olgahospital in Stuttgart für die Möglichkeit die Arbeit unter seiner Leitung durchzuführen bedanken. Es gilt ihm besonderer Dank für die engagierte Betreuung und stetige Hilfsbereitschaft.

Ganz besonderer Dank gilt Herrn Dr. Raphael Staubach für seinen unermüdlichen Einsatz und die umfangreiche Unterstützung bei Erstellung dieser Arbeit. Ohne ihn wäre die Arbeit so nicht möglich gewesen.

Für die Hilfe bei der Erstellung der Statistik danke ich ausdrücklich Frau Dr. Svetlana Hetjens, Diplom-Mathematikerin der Medizinischen Statistik in Mannheim.

Bei meinen Eltern, die mir das Studium ermöglichten und mir stets zur Seite stehen, möchte ich mich herzlich bedanken.

Auch meiner Cousine danke ich besonders für die umfassende Hilfe während der Arbeit und stets darüber hinaus.