

# **Diplomarbeit**

## **AUSWIRKUNGEN VON HOCHENERGETISCHEM LASERLICHT AUF NICHTBIOLOGISCHE MATERIALIEN IM UMFELD DES DERMATOLOGISCHEN BEHANDLUNGSAREALS**

eingereicht von

**Ingrid Peterschinek**

Mat.Nr.: 0433240

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktorin der gesamten Heilkunde**

**(Dr. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Univ. Klinik für Dermatologie**

unter der Anleitung von

**Univ. - Prof.in Dr.in Daisy Kopera**

Ort, Datum .....

Unterschrift .....

*Eidesstattliche Erklärung*

*Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.*

*Graz, am .....*

*Unterschrift .....*

## Danksagungen

Allen voran möchte ich mich an dieser Stelle bei Frau Prof.in Dr.in Daisy Kopera für die hervorragende Anleitung und Betreuung meiner Diplomarbeit bedanken. Frau Prof.in Kopera stand mir stets bei jeglichen Fragen und Schwierigkeiten bei der Erstellung der Arbeit zur Seite und half mir durch konstruktive Kritik, sowie den klinischen Bezug zur Thematik den richtigen Zugang zur Arbeit zu finden. Außerdem stellte Frau Prof.in Kopera mir alle Lasergeräte für die Testreihen, welche wir zusammen durchgeführt haben zur Verfügung. Vor allem aber möchte ich mich für die freundliche und fachlich kompetente Führung durch die Diplomarbeit und die Testreihen bedanken.

Besonderer Dank gilt meiner Mutter, Ingrid Peterschinek, die mir das Medizinstudium ermöglichte, und mich in all meinen Vorhaben immer unterstützte.

An dieser Stelle ist darüber hinaus auch die freundliche Unterstützung von Michael Manuel Kazianschütz ( MBA, Stv. Leiter Sicherheitstechnischer Dienst LKH Univ. – Klinikum Graz) besonders hervorzuheben. Herr Kazianschütz ermöglichte die fachlich kompetente Zusammenarbeit mit Seibersdorf Laboratories, stellte den Kontakt her und sorgte für die Beachtung der Testreihe im Rahmen des E-LAS, (Österreichweites Projekt der AUVA in Kooperation mit Seibersdorf Laboratories für effiziente Schutzmaßnahmen bei Laseranwendungen).

# Inhaltsverzeichnis

Danksagungen .....	iii
Inhaltsverzeichnis .....	iv
Zusammenfassung .....	viii
Abstract .....	ix
1 Einleitung .....	10
2 Laser .....	11
2.1 Physikalische Grundlagen.....	11
2.1.1 Laserlicht .....	12
2.1.2 Stimulierte Emission .....	12
2.1.3 Lichtverstärkung.....	13
2.1.4 Resonator .....	13
2.1.5 Pumpen .....	13
2.1.6 Wellenlänge .....	14
2.1.7 Energie und Leistung .....	14
2.1.8 Impulsdauer .....	14
2.2 Technischer Aufbau eines Lasers .....	15
3 Wirkungen des Laserlichtes auf Gewebe .....	17
3.1 Eigenschaften des Laserlichtes in Bezug auf die Haut .....	17
3.1.1 Aufbau der Haut.....	17
3.1.1.1 Epidermis.....	18
3.1.1.2 Dermis .....	18
3.1.1.3 Subcutis.....	19
3.1.2 Optische Eigenschaften der Haut .....	20
3.1.2.1 Reflexion.....	20
3.1.2.2 Streuung .....	20
3.1.2.3 Absorption.....	21
3.1.3 Eindringtiefe .....	21
3.1.3.1 Verteilung der Photonen .....	22
3.2 Wirkung von Laserlicht im Gewebe.....	22
3.2.1 Selektive Photothermolyse .....	23
4 Laser in der Dermatologie .....	24
4.1 Frequenzverdoppelter Nd:YAG Laser (KTP – Laser) (532 nm) .....	25
4.1.1 Gepulster Modus.....	26

4.1.2	Gütegeschalteter Modus (q-switch) .....	26
4.2	Blitzlampen – gepulster Farbstofflaser (585 – 600 nm).....	26
4.3	Rubinlaser (694 nm).....	27
4.3.1	Gepulster Modus.....	28
4.3.2	Gütegeschalteter Modus .....	28
4.4	Nd:YAG Laser (1064 nm).....	28
4.4.1	Kontinuierlicher Modus (cw – Nd:YAG).....	29
4.4.2	Gepulster Modus.....	29
4.4.3	Gütegeschalteter Modus .....	30
4.5	Er:YAG – Laser (2940 nm).....	31
4.6	Kühlung der Haut .....	32
4.6.1	Kontaktkühlung .....	32
4.6.2	Spray – Kühlung .....	32
4.6.3	Kaltluft.....	32
4.6.4	Andere Kühlsysteme.....	33
5	Lasersicherheit.....	33
5.1	Schutzmaßnahmen im Umgang mit Laser .....	34
5.1.1	Lasersicherheitsklassen .....	34
5.1.2	Schutzmaßnahmen für BehandlerInnen .....	34
5.1.3	Schutzmaßnahmen für PatientInnen.....	35
5.1.4	Lasersicherheitsklassen.....	36
6	Wichtige dermatologische Indikationsstellungen.....	38
6.1	Vaskuläre Fehl - und Neubildungen.....	38
1.1.1	Naevus flammeus .....	38
6.1.1	Hämangiome.....	42
6.1.1.1	Teleangiektasien.....	44
6.1.2	Mb. Osler (Teleangiektasia hereditaria haemorrhagica) .....	47
6.1.3	Besenreiser.....	47
6.1.4	Erythosis interfollicularis colli .....	48
6.2	Epidermale Naevi.....	49
6.2.1	Verrucöse epidermale Naevi.....	49
6.3	Pigmentierte Hautveränderungen .....	50
6.3.1	Aktinische Lentigines (Lentigines solares, seniles).....	50
6.3.2	Café-au-lait-Flecken .....	51

6.3.3	Naevi spili .....	51
6.3.4	Naevuszellnaevi.....	52
6.4	Tätowierungen .....	53
6.4.1	Schmucktätowierungen/Permanent-Make-up .....	53
6.4.2	Schmutztätowierungen .....	56
6.5	Benigne Tumoren.....	56
6.5.1	Xanthelasma .....	56
6.5.2	Syringome.....	57
6.5.3	Neurofibrome .....	57
6.5.4	Rhinophym.....	58
6.5.5	Seborrhoische Keratosen .....	58
6.6	Maligne Tumoren .....	59
6.6.1	Basalzellkarzinom .....	59
6.6.2	Mb. Bowen.....	60
6.6.3	Aktinische Keratose .....	60
6.6.4	Leukoplakie.....	61
6.6.5	Kaposi-Sarkom .....	62
6.7	Entzündliche Dermatosen .....	62
6.7.1	Vitiligo .....	62
6.8	Infektiöse Dermatosen .....	63
6.8.1	Mollusca contagiosa .....	63
6.8.2	Vulgäre Warzen .....	64
6.8.3	Condyloma acuminata (Syn.: Feigwarzen, Feuchtwarzen).....	65
6.9	Narben und Keloide .....	66
6.9.1	Hypertrophe Narben .....	66
6.9.2	Keloide.....	66
6.10	Ästhetische Indikationen .....	67
6.10.1	Skin Resurfacing.....	67
6.10.2	Skin Rejuvenation .....	70
6.10.3	Laserepilation.....	71
6.10.3.1	Hypertrichose/Hirsutismus.....	71
6.10.3.2	Haarentfernung.....	72
6.10.3.3	Prinzip der Laserepilation .....	72
6.10.3.4	Ausgewählte Geräte zur Laserepilation .....	73

6.10.3.5	Behandlung.....	74
7	Testreihe zur Lasersicherheit.....	75
7.1	Einleitung .....	75
7.2	Testanordnung.....	75
7.3	Durchführung der Testreihe .....	77
7.4	Ergebnisse .....	77
7.4.1	Frequenzverdoppelter Nd:YAG – Laser (KTP – Laser).....	77
7.4.2	Blitzlampengepumpter Farbstofflaser .....	77
7.4.3	Rubinlaser.....	78
7.4.4	Neodym:YAG – Laser .....	78
7.4.5	Erbium:YAG – Laser .....	79
7.4.6	Photodokumentation .....	80
7.4.7	Gegenüberstellung der Materialien und Zusammenfassung der eindrucksvollsten Reaktionen.....	85
7.5	Diskussion.....	86
	Literaturverzeichnis .....	88
	Abbildungsverzeichnis.....	92
	Bildnachweiß .....	92
	Tabellenverzeichnis.....	93
	Anhang Testreihe Protokoll Testreihe Tabellen.....	94

## Zusammenfassung

In dieser Diplomarbeit werden Grundlagen der Lasertechnik sowie deren Anwendung in der Medizin insbesondere in der Dermatologie beschrieben. Der theoretische Teil der Arbeit befasst sich demnach auch mit Krankheitsbildern der Dermatologie, welche einer Laserbehandlung zugeführt werden können. Außerdem wird der Aufbau von Lasern, sowie dessen Funktionsweise eingehend erklärt.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Testreihe durchgeführt, welche die Wirkungen fünf unterschiedlicher, in der Dermatologie häufig eingesetzter Hochenergielaser auf verschiedenen Materialien detektiert. Diese Materialien umfassen in erster Linie Textilien und Oberflächen, welche während einer Laserbehandlung akzidentell beschossen werden könnten. Respektive handelt es sich dabei um nicht biologische Stoffe am und in der Umgebung der/s behandelten Patientin/en und des behandelnden medizinischen Personals. Da sich Laserlicht in Hitze umwandelt wurden vor allem thermische Wirkungen, welche einen Schaden nach sich ziehen könnten, erfasst. Natürlich wird in der Testreihe Rücksicht auf Faktoren wie Einwirkdauer, Laserart und Abstand zur Zielstruktur genommen. In weiterer Folge wurden die Ergebnisse photodokumentiert und bezüglich thermischer Reaktionen beschrieben. Es erfolgte sowohl eine Gegenüberstellung der verschiedenen Laser als auch der Textilarten.

## **Abstract**

Lasers, as an instrument for treatment in Dermatology have been used since 1962. First laser indication was the paediatric Port Wine Stain and soon laser therapy became treatment of choice. More and more, laserlight became established in the treatment of multiple disease patterns in every subdiscipline of medicine. Today, laser is an sophisticated tool and in special indications therapy of choice.

This is about laser beam in technical concern, the assembling and mode of operation and moreover the most frequently clinical pictures of Dermatology treated with laser. As lasers used in Dermatology are high energy lasers, the thesis also focused on the issue of safety. In the context of E – LAS (an Austrian Project for laser safety) a test series was conducted. Thereby different materials, textiles as well as surfaces, which could accidentally be hit by the laser beam during laser therapy, were tested. Potential hazards for the patient as well as for the therapist have been evaluated. In practise used parameters such as wavelegths, pulse durations an distances have been considered. The test series revealed thermal reactions as delinated and photodocumented. Moreover the materials, lasers and reactions were opposed and the potential hazard discussed.

# 1 Einleitung

In der Medizin, vor allem in der Dermatologie werden Hochenergie-Laser zur Behandlung unterschiedlichster Indikationen eingesetzt. Den Grundstein für die heutige moderne Lasertherapie wurde bereits 1917 von Albert Einstein gelegt. Er setzte sich mit dem Prinzip der stimulierten Emission auseinander und postulierte dieses Konzept in seinem Aufsatz „Zur Quantentheorie der Strahlung“. [8] 1928 gelang Landenburg der experimentelle Nachweis von stimulierter Emission in Gasentladungen.

Bereits 1954 stand der sogenannte MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) zur Verfügung. Dieses Gerät fand aber damals noch keinen Einsatz, weil die Art der Anwendung dieser Strahlung zu dem Zeitpunkt noch unklar war. Der erste funktionsfähige Laser wurde 1960 zur Anwendung gebracht. Erste Anwendungsgebiete waren vor allem in der Augenheilkunde zu finden. 1961 gab es bereits zwei wissenschaftliche Publikationen bezüglich der Anwendung von Lasern:

- Solon LR, Aronson R, Gould G; (1961) Physiological implications of laser beam. *Science* 134: 1506 – 1508 [5]
- Zaret MM, Breinin GM, Schmidt H, Ripps H, Siegel IM, Solon LR; (1961) Ocular lesions produced by an optical maser (laser). *Science* 134: 1525 – 1526 [6]

Im Jahr 1963 publizierten Goldman et al. erstmalig Artikel über Laser im dermatologischen Bereich:

- Goldman L, Blaney DJ, Kindel DJ Jr, Franke EK; (1963) Effect of the laser beam on skin. Preliminary report. *J Invest Dermatol* 40: 121 – 122 [7]
- Goldman L, Blaney DJ, Kindel DJ Jr, Richfield D, Franke EK; (1963) Pathology of the effect of the laser beam on skin. *Nature* 197: 912 – 914 [15]

In den folgenden Jahren kam es zu einer rasanten Weiterentwicklung der Lasertechnologie. Zum Beispiel wurde in den 1980ern ein gepulster Farblaser speziell für die Behandlung von Naevi Flammei im pädiatrischen Bereich entwickelt. [4]

In seiner über 40 Jahre andauernden Geschichte hat der Laser in der Öffentlichkeit von größter Akzeptanz bis hin zu größter Ablehnung alles erlebt. Die

Medien priesen den Laser als Wunderwaffe, dass diese Erwartungen nicht erfüllt werden können, ist nicht verwunderlich.

Heute genießt der Laser den Status, in streng ausgewählten Indikationen in jeglichen Bereichen der Medizin ein etabliertes Therapieinstrument zu sein, das zu sehr guten Behandlungsergebnissen führen kann. Die Lasertechnologie ist aber auch noch lange nicht vollkommen ausgereift, sowohl technische Weiterentwicklungen als auch klinische Studien für neue Indikationen werden laufend durchgeführt.

## **2 Laser**

Das Wort Laser ist ein Akronym und steht für Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Lichtverstärkung durch stimulierte Aussendung von Strahlung). Die Funktionsweise eines Lasers setzt sich zusammen aus optischem Pumpen und dadurch Anheben von Atomen eines Donators in einen metastabilen Zustand. [1]

### **2.1 Physikalische Grundlagen**

Grundbestandteile eines Lasers sind eine Energiequelle (Pumplicht), zwei Spiegel (einer davon teildurchlässig) und eine lichtverstärkende Komponente. Die Spiegel werfen die Strahlung des Donators zurück, dieses löst eine weitere Zunahme an Strahlung aus. Durch den teildurchlässigen Spiegel kann ein Teil der Strahlung austreten, der andere Spiegel reflektiert vollständig. Durch das Zuführen von Energie werden die Atome in einen metastabilen Zustand gehoben, wodurch die Atome zu einer Emission stimuliert werden. Zwischen den Spiegeln entsteht eine stehende Welle, es entsteht kohärentes Licht, welches durch den teildurchlässigen Spiegel austreten kann. [1]

Abbildung 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Laserresonators.

## Schema eines Laserresonators

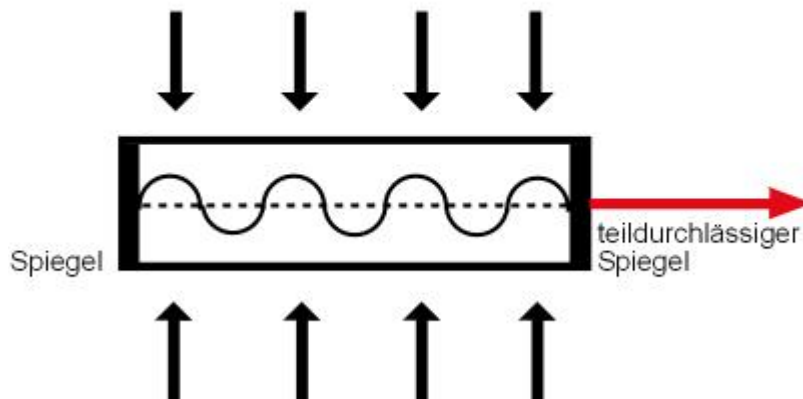


Abb. 1 Schema eines Laserresonators [1]

### 2.1.1 Laserlicht

Laserlicht ist monochromatisch und kohärent, das heißt, es zeichnet sich durch eine geringe spektrale Linienbreite, hohe Energie und starke Bündelung aus. Außerdem kann Laserlicht ultrakurze Lichtimpulse erzeugen. Laserlicht besitzt eine hohe Frequenzstabilität. [2]

Die Kohärenz des Laserlichts bezieht sich sowohl auf eine räumliche als auch sehr hohe zeitliche Kohärenz. Wichtig in der Medizin ist die räumlich Kohärenz, was bedeutet, dass Laserlicht stark fokussierbar ist. [3]

### 2.1.2 Stimulierte Emission

Im Laser ist der wichtigste Prozess der Lichtverstärkung die stimulierte Emission. Das atomare System eines Stoffes wird von außen dazu stimuliert, ein Photon zu emittieren. Das heißt also, ein Photon von außen zwingt ein Atom ein Photon gleicher Wellenlänge zu emittieren, während das Atom auf seinen Grundzustand zurückfällt. Die Eigenschaften dieses emittierten Photons gleichen dem des von außen kommenden Photons (gleiche Wellenlänge und gleiche Richtung). [3]

### **2.1.3 Lichtverstärkung**

Wenn viele Atome am Prozess der stimulierten Emission beteiligt sind, kann es zu einer messbaren Lichtverstärkung kommen. Voraussetzung dafür ist, dass sich die Atome in enger räumlicher Umgebung befinden und alle Atome den selben angeregten Zustand haben. Im Idealfall spricht man von einer Inversion: alle Atome befinden sich im angeregten Zustand. Diese Atome, es können auch Ionen oder Moleküle sein, befinden sich in einem sogenannten Lasermedium (aktives Medium), welches sowohl ein Festkörper, eine Flüssigkeit sein als auch in gasförmiger Form vorliegen kann. Es werden exponentiell Photonen gleicher Wellenlänge und Richtung emittiert. Dadurch ist es verständlich, dass Laserlicht monochromatisch ist. [3]

### **2.1.4 Resonator**

Um den Effekt der Lichtverstärkung zu maximieren, werden die Atome in einen optischen Resonator gebracht. Wie schon einführend erklärt besteht ein Lasersystem aus einer Energiequelle, zwei Spiegeln und einer lichtverstärkenden Komponente. Der Resonator besteht aus diesen zwei Spiegeln, welche parallel angeordnet sind. Das Licht wird darin wellenselektiv reflektiert. Diese Reflexion zwingt das entstandene Licht das Lasermedium immer wieder zu durchqueren, es kommt dadurch zu einer weiteren Verstärkung des Lichts bis die Laserschwelle erreicht ist und der Laserstrahl abgefeuert werden kann. Die Laserschwelle ist definiert als Energiebilanz im Resonator und wird nur dann überschritten wenn die Verstärkung größer ist als die Summe der Verluste im Resonator. [3]

### **2.1.5 Pumpen**

Die Emission von Laserlicht ist nur möglich wenn von außen Energie zugeführt wird; dies wird als Pumpen bezeichnet. Die optische Leistung des Lasers wird eben von dieser zugeführten Energie bestimmt. Festkörperlaser und Farbstofflaser dienen meist Blitzlampen oder Diodenlaser als Energiequelle, Gaslaser hingegen beziehen ihre Energie aus elektrischem Strom. [3]

### 2.1.6 Wellenlänge

Die Wellenlänge eines Lasers ist wie bereits beschrieben mit dem Übergang zwischen zwei unterschiedlichen Energieniveaus von Atomen verbunden. Das einfache Bohr'sche Atommodell ist für die Beschreibung gut anwendbar, jedoch gestaltet sich das tatsächliche Zustandekommen der Emission doch etwas komplizierter. In den verschiedenen aktiven Medien gibt es nur bestimmte Energieniveaus, welche eine Emission von Licht erlauben. [3]

### 2.1.7 Energie und Leistung

Wichtige Größen in der Lasertechnik neben der Wellenlänge sind auch Leistung und Energie. Diese Größen sind miteinander folgend verknüpft:

$$\text{Energie (Joule)} = \text{Leistung (Watt)} \times \text{Zeit (s)}$$

Die Energie eines Laserimpulses wird also in Joule angegeben. In der medizinischen Anwendung von Lasern kommt aber die Energiedichte in Joule/cm<sup>2</sup>, welche auf der Hautfläche appliziert wird als wichtige Größe zu tragen. Es handelt sich bei der Energieverteilung auf der Haut immer um eine Kreisfläche ( $\pi r^2$ ). Die Kreisfläche kommt über die Entstehung des Laserlichtes, seinen Transport und durch die Applikatoren zustande. Die Energiedichte beschreibt die Menge an Energie in Joule, welche auf die Hautoberfläche appliziert wird, im Hinblick auf den Durchmesser (Spot size). Diese Spot size wird meist direkt am Gerät eingestellt und richtet sich nach patientenspezifischen Richtlinien.

$$\text{Energiedichte} = (\text{Leistung} \times \text{Zeit}) / \text{Fläche}$$

Die Intensität des Laserlichtes wird mit der Größe W/cm<sup>2</sup> bezeichnet.

Die Lichtenergie ist abhängig von Frequenz oder Wellenlänge.

Die Intensität des Laserlichtes ist meist höher als bei normalem (also nicht kohärentem) Licht, daraus ergeben sich die unterschiedlichen Effekte im Gewebe, worauf bei jeder Laserbehandlung unbedingt zu achten ist. [3]

### 2.1.8 Impulsdauer

Bei den in der Medizin verwendeten Lasern sind zwei unterschiedliche Formen bezüglich der Impulsdauer in Verwendung. Die Emission von Laserlicht kann kontinuierlich verlaufen: sogenannte continuous wave laser (Dauerstrichlaser)

oder in Form von kurzen Impulsen. Bei den cw – Lasern, z.B. Argon oder CO<sub>2</sub> Laser, ist eine dauernde Energiezufuhr notwendig, damit die Inversion aufrecht erhalten bleibt. Im klinischen Gebrauch sind aber gepulste Laser viel häufiger. Die Impulsdauer beträgt derzeit von einigen Millisekunden bis hin zu wenigen Femtosekunden. Impulsdauer im Bereich von Millisekunden kann mit der Verwendung eines cw – Lasers und eines elektromechanischen Schalters realisiert werden. Dieser Schalter ist nach dem Resonator eingebaut und kann den Laserstrahl für eine einstellbare Zeit blockieren. Hingegen für den Bereich von Mikrosekunden werden die Lichtimpulse durch die Anregung im Lasermedium bestimmt. Das heißt es erfolgt eine gepulste Anregung des Mediums, dadurch finden auch Inversion und Lichtverstärkung nur kurzzeitig statt. Daraus ergibt sich ein kurzer Laserimpuls.

Wenn eine Impulsdauer im Bereich von Nanosekunden erzeugt werden soll, ist eine Güteschaltung (Q-switch: Quality Switch) notwendig. Im Laser wird selbst während des Aufbaus der Inversion diese auch gleichzeitig wieder abgebaut, was einen limitierenden Faktor für Spitzenleistungen und Impulsdauer des Lasers darstellt. Durch die Güteschaltung wird eine Oszillation (Abbau der Inversion) solange verhindert, bis eine maximale Inversion, abhängig von der zugeführten Energie, erreicht ist. Der Güteschalter ist für das Licht nicht transparent und wird in den Resonator eingebaut. Der rechte Resonatorspiegel ist demnach in seiner Funktion außer Kraft gesetzt. Ist die maximale Inversion erreicht wird der Schalter transparent und die aufgestaute Inversion kann sich schlagartig mit einer sehr hohen Spitzenleistung (Megawatt) und innerhalb weniger Nanosekunden entladen. Technisch gesehen ist ein Güteschalter meist ein elektrooptischer Schalter. Dafür werden oft Kristalle oder Flüssigkeiten unter Anlegen von elektrischer Spannung verwendet. [3]

## **2.2 Technischer Aufbau eines Lasers**

Grundbestandteil jeden Lasers ist der Laserresonator mit der optischen oder elektrischen Anregung. Der Resonator befindet sich in einem abgeschlossenen Gehäuse zusammen mit der Steuerungselektronik, der elektrischen Versorgung und der Kühlung. Das Lichtleitersystem und der Applikator (Glasfaser oder

Spiegelarm) sind mit dem Gerät verbunden. Am Gerät können Impulsdauer, Energiedichte und Leistung eingestellt werden.

Das Laserlicht wird nach seiner Erzeugung mit einem Lichtapplikator zum Patienten gebracht. Für die Applikation ist ein Lichtleiter, meist ein Glaslichtleiter und ein Handstück notwendig. Das Laserlicht wird hierzu in den Lichtleiter eingekoppelt. Im Lichtleiter befindet sich ein Kern aus Quarz, diesem Kern wird der Strahlquerschnitt des Laserlichts angepasst. Der Quarzkern ist von einer reflektierenden Schicht und einem mechanischen Schutzmantel umgeben. Innerhalb des Kerns erfolgt der Transport des Lichtes in Längsrichtung des Lichtleiters. Das seitliche Austreten des Lichtes wird durch Totalreflexion verhindert. Möglich ist dies über den Brechungsindexunterschied zwischen Glasmaterial und Reflexschicht. Das Laserlicht tritt am Ende des Lichtleiters fast ungeschwächt aus. Eine Abschwächung entsteht hauptsächlich über den Brechungsindexunterschied zwischen Luft und dem Glasmaterial. Wichtig in weiterer Folge ist, dass das Laserlicht, da es nicht fokussiert austritt wieder mit einer entsprechenden Optik aus Linsen parallelisiert, also fokussiert wird. Diese Optik ist zusammen mit der Auskoppelung des Lichtleiters im Handstück zu finden.

Zwischen dem Handstück und der Haut befindet sich ein Distanzstück. Dieses ist notwendig, da die Refokussierung in der Optik der optischen Geometrie folgen muss und daher ein gewisser Abstand eingehalten wird. Positive Nebeneffekte sind, dass die Optik nicht zu schnell verschmutzt wird und dass freie Sicht auf das zu behandelnde Hautareal gewährleistet ist.

Die Optik ist generell auf Verschmutzungen zu überprüfen, besonders wichtig bei Lasern mit sehr hohen Lichtintensitäten wie z.B. gütegeschalteten Lasermodi, da sonst die Einkoppelfläche schnell zerstört werden würde.

Bei Infrarotlasern (zB. CO<sub>2</sub> – Laser) ist der Einbau von Spiegelgelenksarmen notwendig, da sonst keine Lichtleitung über das Quarzglas erfolgen könnte. Diese Spiegelgelenksarme bestehen aus drei Gelenken mit Umlenkspiegeln. Sinn dahinter ist, dass in diesen Spiegeln keine Fokussierung erforderlich ist und daher der Weg durch das Glasmaterial kurz gehalten werden kann. [3]

### **3 Wirkungen des Laserlichtes auf Gewebe**

Im Folgenden wird die Wirkung von Laser auf Gewebe eingehend erklärt. Es geht dabei um ein Grundverständnis der Laserwirkung, welches notwendig ist um die Indikationen für den Einsatz von Lasern zu begreifen.

Die Ausbreitung des Laserlichtes innerhalb des Resonators und auch im Lichtleitenden System ist mittels geometrischer Optik zu erklären. (siehe Kap.2.2). Im Gewebe kommt es aber zu einer hohen Lichtstreuung, was eine Unberechenbarkeit der Lichtausbreitung zur Folge hat. Die Lichtstreuung kommt durch die Heterogenität der Haut (inhomogene Verteilung von Zellen, Kollagenfasern, Haarfollikel, Blutgefäße, etc.) zustande. [3] Grundsätzlich kommt es zur Umwandlung von Lichtenergie in thermische Energie, die dann an der jeweiligen Zielstruktur ihre Wirkung entfaltet.

#### ***3.1 Eigenschaften des Laserlichtes in Bezug auf die Haut***

Die wichtigsten optischen Eigenschaften sind Reflexion, Absorption und Streuung. Wenn der Laserstrahl auf die Haut auftrifft, kommt es zu einer Reflexion eines Teils des Laserlichtes. Das Licht tritt in das Gewebe ein und wird zerstreut, und in weiterer Folge absorbiert. [3]

Zunächst soll aber der grobe Aufbau der Haut erklärt werden.

##### **3.1.1 Aufbau der Haut**

Die Haut mit einer Gesamtfläche von 1,5 – 2 m<sup>2</sup> und einem Gewicht von 3,5 – 10 kg, ist eines der größten Organe des menschlichen Körpers und stellt die Barriere zur Umwelt dar. [9]

Die Haut gliedert sich in drei Schichten:

- Epidermis
- Dermis
- Subcutis

### 3.1.1.1 Epidermis

Es handelt sich hierbei um ein mehrschichtiges, verhorntes Plattenepithel. Die Schichtdicke beträgt 30 - 300µm, abhängig von Lokalisation am Körper und Alter des Menschen.

Histologisch lässt sich die Epidermis wiederum in vier Schichten unterteilen:

- Stratum basale (einschichtiges Epithel kubischer Basalzellen)
- Stratum spinosum (vielschichtig; hauptsächlich Keratinozyten)
- Stratum granulosum (ein – bis mehrschichtig; Körnerzellen)
- Stratum corneum (kernlose Hornzellen)

In der Epidermis kommt es ständig zur Proliferation von Basalzellen durch Mitose. Die neugebildeten Keratinozyten durchwandern alle Schichten der Epidermis zur Hautoberfläche. Diese Turn – over Zeit beträgt vier Wochen. Diese Hautsicht selbst trägt keine Blutgefäße und wird daher durch Diffusion von Seiten der Dermis ernährt. Hierbei spielt der subepidermale Gefäßplexus eine tragende Rolle. Neben Keratinozyten findet man in der Epidermis auch Melanozyten (pigmentbildende Zellen) und Langerhanszellen (dendritische Immunabwehrzellen). [9]

### 3.1.1.2 Dermis

Die Dermis besteht aus Bindegewebsfasern, vor allem Kollagenfasern und erstreckt sich bis zum subkutanen Fettgewebe. Die dermalen Fasern (Kollagenfasern, Retikulinfasern, elastische Fasern) sorgen für die mechanische Stabilität, Festigkeit und Elastizität der Haut. In der Dermis kommen Fibroblasten, Histozyten, Mastzellen und wenige Melanozyten vor. Zellen und Fasern der Dermis liegen eingebettet in die sog. dermale Matrix, welche aus porösem Gel besteht. Dieses Gel setzt sich aus verschiedenen Proteoglykanen zusammen. Die Poren des Gels sind mit Wasser, Kohlenhydraten, anorganischen Ionen, Proteinen, etc. aufgefüllt.

Die Dermis besteht aus zwei Schichten:

- Stratum papillare (wenig Fasern, überwiegend Matrix Zellen und Kapillaren)
- Stratum reticulare (Fasern überwiegen)

Im Stratum reticulare haben auch Haarfollikel und Schweißdrüsen ihren Ursprung.

Die in der Dermis vorhandenen Blutgefäße gliedern sich in einen tief dermalen und einen oberflächlicheren subpapillaren Plexus. Diese dienen zur Versorgung der Haut und haben auch die Funktion der Temperaturregulation. [9]

In der Dermis liegen auch die Talgdrüsen, welche Hauttalg (holokrines Sekret) bilden. Talgdrüsen liegen einerseits am Epithel der Haaranlagen und kommen andererseits als freie Drüsen im Lippenbereich, Übergang von Haut und Schleimhautepithelien und Genitalien vor. Die Haut der Fußsohlen und Handinnenflächen hat keine Talgdrüsen.

Im Stratum papillare der Dermis finden sich zudem auch Meissner'sche – Tastkörperchen, welche Druck – und Berührungsempfindungen vermitteln. Sie sind schnell adaptierende Mechanorezeptoren. Diese Tastkörperchen kommen in der behaarten Haut nicht vor. Weitere Mechanorezeptoren der Haut sind die Vater – Pacini'schen – Körperchen (Subcutis und Stratum reticulare; Vibrationswahrnehmungen) und die Ruffini – Körper.

Ein langsam adaptierender Mechanorezeptor ist der Krause'sche – Endkolben im Stratum reticulare, aber auch in Gelenken und Organkapseln [10]

Für die Temperaturperzeption sind freie Nervenendigungen verantwortlich. So liegen Kältesensoren dicht unter der Epidermis und Wärmesensoren etwas tiefer in der Dermis. Die Temperatursensoren werden als Kälte - / bzw. Wärmepunkte zusammengefasst. So kommen an den Fingern alle 2 mm ein Kälte – und alle 20 mm ein Wärmepunkt vor. Temperaturen im Bereich von 20 – 40 Grad werden schnell adaptiert, während Temperaturen darunter und darüber liegend als Bedrohung des Körpers (Absinken/ Ansteigen der Körperkerntemperatur) nicht adaptiert werden. [9;10]

### **3.1.1.3 Subcutis**

Die Subcutis ist ein Kammerwerk aus einzelnen Fettläppchen, welche von Bindegewebssepten durchsetzt sind. Diese Septen strahlen sowohl in das Stratum reticulare der Dermis als auch in die straffen Bindegewebe von Muskeln, Sehnen oder Periost ein und schaffen somit eine Verbindung der Schichten. Die Bindegewebssepten sind vor allem in der Leistenhaut der Handflächen und

Fußsohlen besonders ausgeprägt um der Druckbelastung standhalten zu können.  
[10]

### **3.1.2 Optische Eigenschaften der Haut**

#### **3.1.2.1 Reflexion**

Der Brechungsindex ( $n$ ) von Luft ist  $n=1$ , der Brechungsindex der Haut liegt im Bereich von  $n=1,37 - 1,5$ . Durch diesen Unterschied kommt es beim Auftreffen von Laserlicht auf Haut zu einer Teilreflexion. Der Grad der Reflexion ist abhängig vom Einfallswinkel des Laserlichtes. So wird bei senkrechtem Lichtstrahleinfall eine Reflexion von ca 4 % in der Regel nicht überschritten. Bei schrägem Aufsetzen des Applikators hingegen kann der Anteil der Reflexion des Laserlichtes auf über 10% ansteigen, daher gilt in der praktischen Anwendung ein möglichst senkrechtes Applizieren des Laserstrahls. [3]

#### **3.1.2.2 Streuung**

Streuung ist die Absorption und sofortige Reemission von Licht. Für das Ausmaß der Streuung kann ein Streukoeffizient ( $\mu_s$ ) definiert werden [1]

Laserlicht wird beim Eintritt in das Gewebe einer Streuung unterworfen. Das heißt der Laserstrahl wird einfach oder mehrfach durch die verschiedenen Streuzentren im Gewebe von der ursprünglichen Richtung abgelenkt. Die Lichtintensität kann sich dadurch deutlich verändern: Abnahme der Intensität durch Reduktion der Photonen.

Vor allem im Bereich der Wellenlänge von 300 – 1000 nm ist die Streuung besonders zu beachten. In diesem Spektralbereich kommt es nämlich nicht nur zu einfacher sondern überwiegend mehrfacher Streuung der Photonen.

Das bedeutet, dass die Haut ein optisch sehr trübes Medium ist. Wichtige Faktoren sind hierfür die Verteilung der Streuobjekte (Zellen, Kollagen, Pigment, etc.) und die Wellenlänge des angewendeten Lichtes. Blaues Licht wird deutlich stärker gestreut als rotes Licht, wobei hier der Durchmesser des Streuzentrums um den Faktor 10 kleiner sein muss als die Wellenlänge. Bei grünem Licht müssen die Streuzentren kleiner als 50nm sein, um eine Streuung zu erreichen.

Streuzentren in der Haut sind z.B. Keratinreste, Melaninpartikel, kleine Zellorganellen oder Proteine.

Beim Eintreten von Laserlicht in die Haut setzen verschiedene Streumechanismen ein, welche eine Veränderung der Lichtintensität nach sich ziehen. Es kann zu einer Verringerung aber auch zu einer Erhöhung der Lichtintensität kommen. Wichtig ist aber vor allem die strukturelle Zusammensetzung der Haut. Daraus ergibt sich die unterschiedliche Laserwirkung in unterschiedlichen Hautarealen. [3]

### 3.1.2.3 Absorption

Absorption und Streuung werden zusammengefasst als Extinktion von Licht. Kommt Absorption ohne Streuung zustande, kann ein Absorptionskoeffizient definiert ( $\mu_A$ ) werden. Die Absorption wird definiert als Anregung von Atomen der Substanz, welche das Licht durchquert. [1]

Es kommt bei der Absorption zu einer Abnahme der Lichtintensität. Der Zusammenhang wird mit dem Lambert – Beer'schen Gesetz beschrieben:

$$E = \epsilon \times c \times d$$

(Extinktion= Extinktionskoeffizient  $\epsilon$  x Konzentration  $c$  x Schichtdicke  $d$ ). [1]

Demnach ergibt sich der Zusammenhang:

$$I_1 = I_0 e^{-\epsilon \cdot c \cdot d}$$

Lichtabsorbierende Chromophoren der Haut sind die verschiedenen Formen des Hämoglobins, Melanin und Wasser. Chromophoren (grich.: Farbträger) sind Gruppen in Molekülen, welche für die Farbe eines Stoffes durch ihre spezifischen Absorptionseigenschaften verantwortlich sind. [11] Bei der Lasertherapie kommt es durch die hohen Temperaturen zu einer Umwandlung von Hämoglobin zu Methämoglobin, welches einen drei mal so hohen Absorptionskoeffizienten wie Hämoglobin aufweist. [3]

### 3.1.3 Eindringtiefe

Im Gewebe finden Absorption und Streuung gleichzeitig statt. Die effektive Absorption wird dadurch verändert. Die Lichtintensität nimmt mit zunehmender Tiefe ab. Es wird ein weiterer Koeffizient definiert, welcher die effektive Abschwächung von Laserlicht im Gewebe beschreibt:

$$\mu_{eff} = \mu_A + \mu_S$$

Diese Darstellung gibt aber nur einen Anhaltspunkt, wie viel Licht bis in welche Gewebetiefe eindringt. Bei steigender Wellenlänge steigt die Eindringtiefe, bei sehr hohen Wellenlängen über 1000nm kommt es zu einer vermehrten Absorption von Wasser, was wiederum zu einer Abnahme der Eindringtiefe führt. [3]

### **3.1.3.1 Verteilung der Photonen**

Da die Eindringtiefe des Laserlichtes nur relativ ungenau berechnet werden kann, ist bei der Anwendung von Lasern die Kenntnis über die Verteilung von Lichtenergie von Bedeutung. Es wird versucht verschiedene mögliche Photonenwege zu berücksichtigen und darzustellen (Monte – Carlo – Simulationen; mittels Computern berechnet). Wenn genügend Photonenwege beschrieben werden konnten, ist es möglich ein realistisches Bild der Energieverteilung im Gewebe zu erstellen. Dies ist von Bedeutung, weil die Photonen eben jene Energie tragen, welche im Falle einer Absorption in der Zielstruktur zu einem photothermischen Effekt führen. Das heißt je mehr Photonen sich an einem bestimmten Ort im Gewebe befinden, desto mehr Energie steht für den Effekt zur Verfügung. [3]

## **3.2 Wirkung von Laserlicht im Gewebe**

In den Chromophoren der Haut erfolgt die Absorption von Laserlicht, dort wird die Energie der Photonen in andere Energieformen umgewandelt. Diese Energieformen können sehr vielfältig sein wobei die Unterteilung zwischen photochemischer und photothermischer Prozesse am bedeutendsten sind. Photochemische Reaktionen, wie sie in der Photodynamischen Therapie zur Anwendung kommen, benötigen eine relativ geringe Lichtintensität, während Photothermische Reaktionen erst bei hohen Intensitäten zustande kommen. So gilt für die thermische Laserwirkung: je mehr Photonen pro Zeiteinheit und Fläche (also je größer die Lichtintensität ist) eintreffen und absorbiert werden, desto höher ist die Temperatur. Ein weiterer Faktor ist die Impulsdauer: je kürzer diese ist, desto höher kann die Temperatur ansteigen.

Das heißt für die klinische Anwendung, dass Lichtintensität und Impulsdauer für den gewünschten thermischen Effekt angepasst werden können. Beim cw – Laser kommt es zu einer kontinuierlichen Temperaturerhöhung, welche aber wiederum

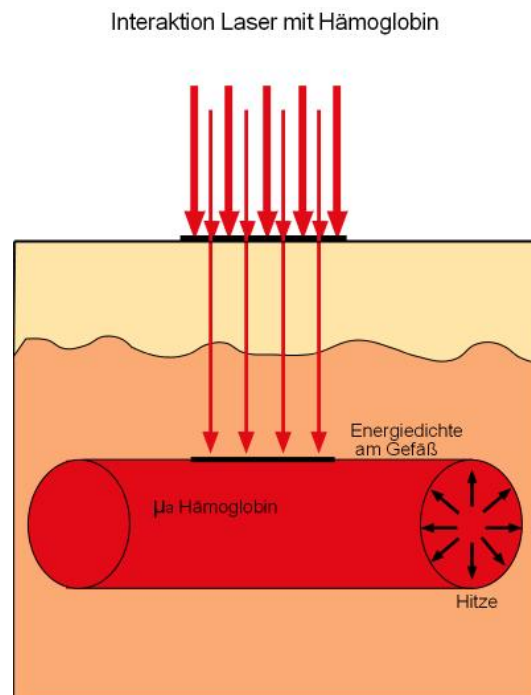
durch verschiedene Mechanismen des Wärmeabtransportes relativiert wird. Es kann aber dadurch auch zu Temperaturerhöhung in Gewebebereichen kommen, welche nicht direkt vom Laserstrahl behandelt werden. Als Beispiel ist die Gewebekoagulation bei Behandlung mit cw- Nd:YAG Laser zu nennen. [3]

### **3.2.1 Selektive Photothermolyse**

Ziel einer Lasertherapie ist es die Zielstruktur möglichst selektiv zu zerstören, ohne das umliegende Gewebe zu beeinträchtigen oder gar zu schädigen. Dies ist bis zu einem gewissen Grad möglich. Hierfür werden die Laserparameter und die photothermische Wirkung von Laserlicht miteinander verbunden. Voraussetzung ist zunächst ein Zielchromophor, welches sich selektiv in der Zielstruktur befindet. Als Beispiel ist hier Hämoglobin im Blutgefäß zu nennen. Ist die Zielstruktur ein Blutgefäß, so muss die Wellenlänge dem Zielchromophor, also dem Hämoglobin angepasst werden. Außerdem sollen im Idealfall bei der gewählten Wellenlänge andere Chromophore möglichst wenig absorbieren. Es muss weiters die Energiedichte dem Volumen des zu zerstörenden Gefäßes angepasst werden. Je Größer das Volumen ist, desto mehr Energie wird benötigt. Es ist auch darauf zu achten, dass die Energiedichte, welche appliziert wird nicht gleich der Energiedichte, welche an der Zielstruktur wirkt, ist (Eindringtiefe). Auch die Photonen, welche an der Zielstruktur ankommen werden nur zum Teil – entsprechend dem Absorptionskoeffizienten des Hämoglobins – absorbiert. Jene Photonen werden dann in thermische Wirkung umgewandelt, was zu einer Temperaturerhöhung im Gefäß führt. Ziel der Lasertherapie ist es eine ausreichende thermische Energie zu entwickeln, um ein Zielgefäß zu koagulieren. Hierfür sind Temperaturen von 70 – 80 Grad notwendig. Sobald aber eine Temperaturerhöhung im Gefäß stattfindet kommt es zu Wärmeleitung, was wiederum zu einer unerwünschten Temperaturerhöhung im umliegenden Gewebe führen kann. Wird die Impulsdauer entsprechend kurz gewählt, kann dieser Effekt reduziert werden. Grundsätzlich kann bei größerem Gefäßlumen eine längere Impulsdauer gewählt werden, weil es hier zu einem langsameren Temperaturanstieg kommt. Zu beachten ist aber auch die thermische Relaxationszeit des Gefäßes, das ist jene Zeit, in der die Struktur auf die Hälfte

ihrer maximalen Temperatur abgekühlt ist. Demnach muss die Impulsdauer immer kleiner oder gleich dieser thermischen Relaxationszeit gewählt werden, wobei die Relaxationszeit vom Durchmesser

des Gefäßes abhängt.[3]  
In Abb. 2 wird der Energieverlust durch Streuung und Absorption durch die Haut schematisch dargestellt und der Zusammenhang zwischen Durchmesser des Gefäßes und Ausbreitung der für die Koagulation notwendigen Temperatur veranschaulicht.



## 4 Laser in der Dermatologie

Im Folgenden werden alle für die Testreihe verwendeten Laser, das sind jene, die auch in der Dermatologie ihre Anwendung finden, beschrieben.

Aus der unterschiedlichen Wellenlänge der Lasersysteme ergeben sich unterschiedliche Eigenschaften bezüglich der Absorption in den Chromophoren, der Eindringtiefe und der Effekte. Grundsätzlich stehen Koagulation, Vaporisation und Ablation als Lasereffekte zur Verfügung.

#### 4.1 Frequenzverdoppelter Nd:YAG Laser (KTP – Laser) (532 nm)

Wellenlänge	532 nm (Frequenzverdoppelt von 1064nm Nd:YAG Laser durch Kalium-Titanylphosphat)
Aktives Medium	mit Neodym (Nd) – Ionen dotierter YAG – Kristall
Pumpen	HBL (hochenergetische Blitzlampen), Diodenlaser
Modi	gepulster Modus; gütegeschalteter Modus
Zielchromophore	Hämoglobin, Pigmente
Indikationen	Vaskuläre und pigmentierte Veränderungen

Tab.1: Wichtigste Parameter des Nd:YAG – Lasers [3]

Zunächst soll zum besseren Verständnis der Begriff der Frequenzverdopplung erklärt werden: Die Frequenz des Lichtes bleibt bei der Wechselwirkung von Materie und Licht nur bei geringen Lichtintensitäten erhalten. Bei Laserlicht (hohe Lichtintensität) kommt es zu einer nicht harmonischen Schwingung mit Auftreten von Oberschwingungen. In dieser Situation gilt die nichtlineare Optik. Eine zweite harmonische Schwingung tritt in bestimmten Kristallen auf. Jene Kristalle, mit besonderer Gitterstruktur werden innerhalb oder auch außerhalb des Laserresonators eingesetzt, um aus einer Frequenz die doppelte Frequenz zu machen. Dies wird mit dem optisch nicht linearen Effekt des Kristalls erreicht. Mit der doppelten Frequenz ergibt sich dann die halbe Wellenlänge.

Beim frequenzverdoppelten Nd: YAG Laser wird die Grundwellenlänge von 1064 nm auf 532 nm verkürzt und als Kristall wird Kaliumtitanylphosphat (KTP) verwendet. Daher auch der Name KTP – Laser.

Wenn als zuführende Energiequelle eine Blitzlampe dient, kommt es aufgrund der hohen Repetitionsrate zu einem quasi kontinuierlichem Laserstrahl, welcher aber einer zeitlichen Impulsformung im Bereich von Millisekunden unterworfen wird. Ist jedoch ein Diodenlaser für die Energiezufuhr verantwortlich, kann ein direkt gepulster Modus erreicht werden. Außerdem wird durch die Güteschaltung eine sehr kurze Impulsdauer (im Bereich von Nanosekunden) möglich. [3]

### 4.1.1 Gepulster Modus

Der gepulste Modus wird vor allem bei vaskulären Indikationen angewendet. Das Laserlicht wird in Hämoglobin gut absorbiert und es kommt zu einer thermischen Schädigung vaskulärer Strukturen. Vor allem bei umschriebenen Läsionen (Teleangiektasien, Lippenangiome, etc.) wird der gepulste Modus des  $\text{Nd:YAG}$  Lasers eingesetzt.

Es kommt aber auch zu einer unerwünschten thermischen Schädigung der Epidermis. Es bilden sich nach der Lasertherapie kleine Krusten, da die Behandlung kleiner oberflächlicher Verbrennungen verursacht. Daraus ergibt sich die Möglichkeit folgender Nebenwirkungen: atrophische Einsenkungen, kleine Narbenbildung, nicht reversible Hypopigmentierung im behandelten Hautareal. [3]

### 4.1.2 Gütegeschalteter Modus (q-switch)

Mit dem q-switch wird eine sehr kurze Impulsdauer von wenigen Nanosekunden mit einer Energiedichte von  $1\text{-}5\text{J}/\text{cm}^2$  erreicht. Die hohe Lichtintensität erfordert einen Einbau von Spiegelgelenksarmen zum Lichttransport. Vor allem pigmentierte Veränderungen und auch rote Tätowierungspigmente können mit diesem Modus behandelt werden. Bei einer höheren Energiedichte ist das Auftreten von punktförmigen Blutungen nicht auszuschließen. Es kommt bei einer Wellenlänge von  $532\text{ nm}$  auch zu einer Absorption von Hämoglobin, daher werden kleinere, oberflächliche Gefäße zerstört und es kommt zu Hämorrhagien. [3]

## 4.2 Blitzlampen – gepulster Farbstofflaser (585 – 600 nm)

Wellenlänge	585 – 600 nm
Aktives Medium	Farbstoffmoleküle Rhodamin 6G, Sulforhodamin B (flüssig)
Pumpen	HBL (hochenergetische Blitzlampen)
Modi	FPDL, LPTDL
Zielchromophore	Hämoglobin
Indikationen	Vaskuläre Veränderungen

Tab 2: Wichtigste Laserparameter des FPDL

Dieser Laser wird auch als FPD (flash lamp pumped dye laser) bezeichnet. Die Energiezufuhr erfolgt über hochenergetische Blitzlampen, welche sich parallel zum Farbstoffrohr mit dem aktiven Medium (z.B. Rhodamin 6G) befinden. Die Wellenlänge kann innerhalb des Verstärkungsprofils des Laserfarbstoffs eingestellt werden. Dies wird durch optische Filter, welche in den Resonator eingebaut werden, erreicht. Klassischerweise hat der FPD eine Wellenlänge von 585 nm. Die Impulsdauer liegt üblicherweise in einem Bereich von 0,45 ms Es gibt aber auch einen langgepulsten Farbstofflaser (LPTDL), welcher eine Impulsdauer von mindestens 1,5 ms und eine variable Wellenlänge von 585 – 600 nm aufweist. Das Hauteinsatzgebiet des FPD sind großflächige vaskuläre Läsionen, in erster Linie Feuermale (Nävi flammei), welche durch diesen Laser sehr selektiv aufgehellt werden können. Eine epidermale Schädigung ist meist nicht zu erwarten und Hautadnexe werden in keinem Fall beeinträchtigt. Indikationen für den LPTDL sind Gefäße mit größerem Kaliber (bis ca 1mm) wie sie z.B. als Besenreiser vorkommen. Als Begleiterscheinung dieser Lasertherapie tritt eine blaulivide bis blauschwarze Purpura im behandelten Areal auf. Diese sind jedoch reversibel und bildet sich innerhalb von 7 – 14 Tagen zurück. Unerwünschte Nebenwirkungen: Vor allem bei höherer Energiedichte kann es zur Bildung von Bläschen und nachfolgend zu Krusten kommen. Weiteres werden Hypo/ - und Hyperpigmentierungen nach der Lasertherapie beschrieben, welche aber reversibel sind. [3]

### 4.3 Rubinlaser (694 nm)

Wellenlänge	694 nm
Aktives Medium	Chrom – Ionen (ursprünglich: Rubinkristall)
Pumpen	HBL
Modi	Gepulster Modus, Gütegeschalteter Modus
Zielchromophore	Pigmente
Indikationen	Epilation, pigmentierte Veränderungen

Tab.3: Wichtige Laserparameter des Rubinlasers

Der Rubinlaser verwendet Chrom – Ionen, welche sich in einem Glasstab befinden als aktives Medium. Die Energie eines Rubinlasers kann mehrere Joule pro Impuls betragen. Der Laser kann sowohl mit oder auch ohne q-switch verwendet werden.

#### 4.3.1 Gepulster Modus

Dieser Modus wird vor allem für die Haarepilation eingesetzt. Die Energiedichte beträgt 10 – 40 J/ cm<sup>2</sup> und die Impulsdauern liegen im Bereich von Millisekunden. Das Laserlicht wird auch sehr gut im Melanin absorbiert, was zu einer Hypopigmentierung bei stärker pigmentierten Patienten führen kann.

#### 4.3.2 Gütegeschalteter Modus

Der gütegeschaltete Rubinlaser kommt zur Entfernung von Tätowierungen und Permanent-Make-up zum Einsatz, insbesondere blaue und schwarze Pigmente können selektiv und narbenlos entfernt werden. Außerdem können damit auch oberflächliche pigmentierte Hautveränderungen wie solare Lentigines oder Café – au – lait – Flecken behandelt werden. [3]

### 4.4 Nd:YAG Laser (1064 nm)

Wellenlänge	1064 nm
Aktives Medium	Neodym - Ionen
Pumpen	HBL, Diodenlaser
Modi	Kontinuierlicher Modus, Gepulster Modus, Gütegeschalteter Modus
Zielchromophore	Pigmente, Hämoglobin, Wasser
Indikationen	Epilation, pigmentierte Veränderungen, vaskuläre Veränderungen, unspezifische Koagulation

Tab.4: Wichtige Laserparameter des Nd:YAG Lasers

Dem Nd:YAG Laser steht als aktives Medium Neodym – Ionen im Festkörperkristall Yttrium – Aluminium – Granat (YAG) zur Verfügung. Als externe Energiequelle dienen Blitzlampen oder auch Diodenlaser. Der Nd:YAG Laser kann

auf drei verschiedene Arten verwendet werden. Demnach richten sich die Einsatzgebiete. [3]

#### **4.4.1 Kontinuierlicher Modus (cw – Nd:YAG)**

Dieser Modus hat als Zielchromophor Wasser und wird für eine unspezifische wasserabhängige Koagulation eingesetzt. Es kann je nach Einstellung eine tiefe Koagulation, Vaporisation oder Schneiden von Gewebe, je nach Leistungsdichte und Spot Größe erreicht werden. In der Dermatologie wird dieser Modus aber ausschließlich für die Koagulation verwendet, da die Wundheilung nach Schneiden mit Lasern deutlich schlechter ist, als nach konventionellem Schneiden mit einem Skalpell.

Bei der Behandlung entsteht eine Koagulationszone, die von den Applikationsparametern abhängig ist und keilförmig in die Dermis oder auch bis hin zum subkutanen Fettgewebe reicht. Bei Verwendung des kontinuierlichen Strahls kommt es aufgrund der langen Impulsdauer zu einem Wärmetransport in die Umgebung des Behandlungsgebiets, welcher das Nekroseareal vergrößern kann. Um dies zu erreichen werden Spot Größe mehrere Millimeter, Pulszeit im Sekundenbereich und Ausgangsleistungen von 10 – 40 Watt gewählt.

Einsatzgebiet des cw – Nd:YAG Laser in der Dermatologie sind die Behandlung von größeren Hämangiomen und vaskulären Malformationen und darüber hinaus die Behandlung von interstitiellen Gefäßen. Ziel ist es eine deutliche Schrumpfung des Tumors zu erreichen. Als Nebenwirkung treten Schwellungen nach der Laserbehandlung auf, weiters kommt es relativ häufig zu hypertrophen Narben. [3]

#### **4.4.2 Gepulster Modus**

Vor allem die Epilation und die Behandlung von vaskulären Veränderungen sind die Einsatzbereiche des gepulsten Nd:YAG Lasers.

Größere oberflächlichere Gefäße wie z.B. Besenreiser können behandelt werden. Andere Indikationen sind Venous Lake, Morbus Osler und tuberöse Naevi flammei.

Je nach Indikation kann die Energiedichte im Bereich von 50 – 400 J/cm<sup>2</sup>, die Impulsdauer von 1 – 100 ms und der Strahldurchmesser (Spotgröße) von 1 mm bis über 10mm eingestellt werden. Da die Wellenlänge des Nd:YAG Lasers gering im Hämoglobin absorbiert, ist die Wirkung dieses Lasers etwas unspezifischer als

z.B. bei gepulstem Farbstofflaser, welche aber eher nur kleinere Gefäße erfasst. Daher ist bei der Behandlung mit dem Laser auf das umliegende Gewebe und dessen Reaktionen zu achten.

Nebenwirkungen, wie sie beim cw – Modus zu erwarten sind, treten beim gepulsten Modus nicht auf. Es kommt, bei richtiger Dosierung der Laserparameter selten zu unerwünschten Begleiterscheinungen. Auftreten können Bläschen und Krusten; weiteres wurden auch schon reversible Hyper - / Hypopigmentierungen beschrieben.

Die Eindringtiefe des Laserlichtes bei 1064 nm ist relativ hoch, was bei der Verwendung dieses Lasers zur Epilation unerwünschter Haare aufgrund der Lage der Haarfollikel von Vorteil sein kann. Unmittelbar nach der Behandlung kommt es zu einem perifollikulären Ödem als Zeichen der Follikelschädigung und die Haut kann einige Tage gerötet bleiben. [3]

#### **4.4.3 Gütegeschalteter Modus**

Der q-switch mit hoher Lichtintensität und sehr kurzer Impulsdauer wird bei pigmentierten Veränderungen und bei Tätowierungen eingesetzt. Hier kommt die selektive Photothermolyse zu tragen, welche bereits 1983 von Anderson und Parrish beschrieben wurde. Es kommt zu einer selektiven Zerstörung der pigmentierten Zielchromophore. Daher bleiben optisch inherente Strukturen von der hohen Laserenergie weitgehend unbetroffen. [26] Da die Absorption im Melanin bei dieser Wellenlänge aber bereits abgenommen hat, ist die Wirkung auf endogen pigmentierte Veränderungen nicht so ausgeprägt und findet daher in dieser Indikation wenig Verwendung. Bei 1064 nm sollten farbige Pigmente (mit Ausnahme von blauen Pigmenten) von Tätowierungen nicht absorbieren, trotzdem kommt es zu einer klinischen Aufhellung. Außerdem wird dieser Laser bei schwarzen Pigmenten einer Tätowierung eingesetzt. [3]

#### 4.5 Er:YAG – Laser (2940 nm)

Wellenlänge	2940 nm
Aktives Medium	Erbium - Ionen
Pumpen	HBL
Modi	Thermischer Modus, Ablation und Koagulations Modus
Zielchromophore	Wasser
Indikationen	Vaporisation, Ablation

Tab.5: Wichtige Parameter des Er:YAG Lasers

Es handelt sich beim Er:YAG Laser um einen Festkörperlaser, welcher mittels Blitzlampen gepumpt wird. Wiederum gilt der YAG als Trägersubstanz. Die Wellenlänge dieses Lasers wird vor allem in Wasser absorbiert. Durch die Wellenlänge ist ein aufwändiger Lichtleiter notwendig, welcher meist aus Spiegelgelenksarmen besteht. Durch kurze Pulslänge (200 – 600  $\mu$ s) kann eine rasche Erhitzung von Gewebe und darauffolgende explosionsartige Vaporisation erreicht werden. Dies wird auch als thermoablativer Effekt bezeichnet. Die Abtragungsraten sind sehr

gering (bis zu 10  $\mu$ m). Es entsteht aber auch eine sehr schmale Nekrosezone von ca 20 – 50  $\mu$ m, dies hat den Vorteil einer sehr schonenden Abtragung mit guter, fast narbenloser Abheilung. Bei der Eröffnung von Kapillaren im Stratum papillare kommt es zu einer Blutung, welche die weitere Behandlung stört oder sogar verhindert. Das heißt aber auch, dass dieser Laser nur für oberflächliche Hautveränderungen, wie Hypertrophe Narben und Keloide eingesetzt werden kann. So werden im thermischen Modus niederenergetische Pulse verwendet, welche zur Behandlung von Falten und Narben eingesetzt werden. Die Wundheilung erfolgt sehr rasch und komplikationslos, es treten sonst keinerlei Nebenwirkungen auf. [3; 12]



Abb.3: Burane Laser [16]

## **4.6 Kühlung der Haut**

Selektiv wirksame Lasersysteme die mit hoher Energiedichte und Impulsdauer eingesetzt werden erfordern um unerwünschte Nebenwirkungen (Verbrennung, Blasenbildung) zu vermeiden die oberflächliche Kühlung der Haut. Um Schäden an der Haut zu vermeiden werden Kühlsysteme verwendet, die für den schnellen Ausgleich der Wärme sorgen. Kühlsysteme sind oft integrativer Bestandteil eines Lasersystems oder werden extern an den Patienten herangeführt. Wichtig zu beachten ist, dass die Kühlung keinen negativen Einfluss auf die Effektivität der Lasertherapie hat oder selbst Schaden an der Haut verursacht. Im Folgenden werden die gängigsten Kühlsysteme kurz erklärt. [3]

### **4.6.1 Kontaktkühlung**

Es handelt sich hierbei um eine Vorkühlung der Haut mit aktiv gekühlten Platten aus Metall oder Glas, welche auf die Hautoberfläche aufgesetzt werden. Die Kühlung dieser Platten erfolgt mittels einer kalten Flüssigkeit, wobei Temperaturen von etwa 5 Grad erreicht werden können. Limitationen dieser Art von Kühlsystemen sind von der Handhabung her vor allem durch anatomische Strukturen im Gesichtsbereich gegeben. [3]

### **4.6.2 Spray – Kühlung**

Bei der Spray – Kühlung wird ein Gas (z.B. Tetrafluoroethan) druckerniedrig und als Sprühstoß auf die Haut gerichtet. Temperaturen von unter 5 Grad können erreicht werden. Großer Vorteil der Spray – Kühlung ist, dass diese direkt am Laserapplikator angebracht ist und somit die Sicht in keinsten Weise beeinträchtigt. Weiteres kann am Lasergerät die Sprühstoßdauer (10 – 100 ms) eingestellt werden. Es erfolgt wenige ms danach die Laserlichtapplikation und es kann – wenn erforderlich – unmittelbar nach der Applikation ein weiterer Sprühstoß abgegeben werden um die Haut nachzukühlen. [3]

### **4.6.3 Kaltluft**

Diese Art der Hautkühlung funktioniert mit einem Klimagerät, welches kalte Luft von bis zu minus 30 Grad erzeugen kann. Mit einem Schlauchsystem wird die

kalte Luft an den Patienten herangeführt. Nach einer kurzen Kühlungszeit von ca. 10 s kann eine Temperatur an der Hautoberfläche von 15 Grad erzielt werden. Nachteil dieses Kühlungssystems ist, dass der Schlauch von/m der Behandlerin/Behandler in einer Hand gehalten werden muss. Es gibt aber auch bereits Systeme, bei denen der Schlauch am Laserhandstück befestigt werden kann. [3]

#### **4.6.4 Andere Kühlsysteme**

→ *Ultraschallgel* kann auch zur Kühlung der Hautoberfläche verwendet werden, wobei eine Verstärkung des kühlenden Effektes durch Lagerung im Kühlschranks erzielt werden kann. Vor allem während der Therapie mit hochenergetischen Blitzlampen wird dieses Gel zwischen Haut und Applikator gebracht.

→ *Eiswürfel oder Coolpacks* werden auch zur Vorkühlung eingesetzt. Hierbei werden diese auf die Hautoberfläche gelegt und verbleiben dort einige Sekunden. Es können Temperaturen von 12 Grad erreicht werden. [3]

## **5 Lasersicherheit**

Jedes Lasergerät wird nach der internationalen Klassifizierungs-Norm (IEC 60825-1) in Sicherheitsklassen eingeteilt, im den europäischen Raum auch als EN 60825-1 bezeichnet. [13]

Demnach werden die Gefahrenklassen 1 – 4 unterschieden, wobei alle in der Dermatologie verwendeten Hochenergie-Laser der Klasse 4 angehören. Diese Lasersysteme dürfen nur von speziell ausgebildeten Ärzten/Ärztinnen angewandt werden. Entsprechend der Laserklasse müssen bestimmte Schutzvorrichtungen vorhanden sein, z.B. ein Türverriegelungssystem, das bei Laserbetrieb das Öffnen der Tür des Laserraums von außen nicht zulässt. Weiteres ist bei Inbetriebnahme von Lasern ein/e geschulte/r Laserschutzbeauftragte/r zu bestellen, der den Laserbetrieb überwacht. Zu den Aufgaben der Laser-Schutzbeauftragten gehören auch die Unterweisung der AnwenderInnen in die Grundlagen des Laserstrahlenschutzes sowie die Unterstützung der AnwenderInnen hinsichtlich eines sicheren Laserbetriebes. [3]

## **5.1 Schutzmaßnahmen im Umgang mit Laser**

### **5.1.1 Laserbehandlungsräumlichkeiten**

Die Räumlichkeiten, in denen eine Lasertherapie stattfindet, müssen hinsichtlich eines unabsichtlichen Eindringens durch Unbefugte abgegrenzt sein. Außerdem müssen die Räume durch entsprechende Warnschilder gekennzeichnet sein. Warnlampen, welche die Inbetriebnahme des Lasers signalisieren, müssen an den Zugängen deutlich ersichtlich angebracht werden. Im Laserbereich sind gut reflektierende Oberflächen (Spiegel, Metalloberflächen) zu vermeiden. Die BetreiberInnen haben auch dafür Sorge zu tragen, dass sich brennbare Stoffe oder explosionsfähige Gase nicht in den Räumlichkeiten befinden. Außerdem müssen alle verwendeten Instrumente (v.a. im chirurgischen Bereich) so beschaffen sein, dass eine Reflexion weitgehend ausgeschlossen werden kann.

[3]

### **5.1.2 Schutzmaßnahmen für BehandlerInnen**

Der Schutz der Augen hat im Laserbereich einen besonders hohen Stellenwert, da es je nach Laserart zu irreversiblen Schäden der Hornhaut und der Netzhaut kommen kann. Als Schutzmaßnahme sind bei jeder Laserbehandlung von allen im Raum befindlichen Personen geeignete Laserschutzbrillen zu tragen. Besondere Gefahr für die Augen besteht, wenn extrem kurze Lichtimpulse mit hoher Energie zur Anwendung kommen und der Lidschlussreflex zu langsam für die kurzen Impulse ist. Das heißt, dass es zum Eintreffen der gesamten Energiedichte auf der Netzhaut kommt, bevor das Lid geschlossen werden kann. Es kann so zu thermischen Schäden an der Retina mit Herabsetzung der Sehschärfe bis hin zur vollständigen Erblindung kommen.

Bei Lasergeräten, welche im nicht sichtbaren Spektralbereich liegen, kommt es zu überhaupt keinem Lidschlussreflex. Im Wasser absorbierendes Laserlicht führt zu einer Schädigung von Cornea und des vorderen Kammerabschnittes.

Schutzbrillen werden eingeteilt nach der Wellenlänge, für welche die Schutzbrille geeignet ist und der Schutzstufe (L1 –L10), welche gleichbedeutend mit der optischen Dichte ist. Die BetreiberInnen des Lasergerätes haben in jedem Fall dafür zu sorgen, dass sowohl PatientInnen, das medizinische Personal als auch sie/er selbst geeignete Schutzbrillen trägt.

Bei oberflächlich abtragenden, schneidenden und vaporisierenden Lasern kommt es meist zu einer Rauchentwicklung. Der Rauch besteht aus verbrannten bzw. koagulierten Gewebepartikeln, welche nicht nur aufgrund ihrer Größe lungenschädigend sein können. In einigen Studien [18;19] konnten Virus – DNA, Bakterien und infektiöse Viren im Rauch nachgewiesen werden. Es gilt als relativ unwahrscheinlich, dass es zu einer Infektion durch den Laserrauch kommt, ausgeschlossen werden kann es aber bis jetzt nicht. So ist eine entsprechende Verwendung von Rauchabsaugsystemen und Gesichtsmasken bei bestimmten Indikationen durchaus zu empfehlen. [3]

### **5.1.3 Schutzmaßnahmen für PatientInnen**

Auch hier ist an oberster Stelle das Tragen von Laserschutzbrillen zu nennen. Bei einer Behandlung im Orbitabereich gilt es Augenschalen, welche zum Schutz des Bulbus direkt auf die Hornhaut gelegt werden, zu verwenden. Diese werden nach Applikation von lokalanästhetischen Augentropfen unter Verwendung einer Augensalbe als Gleitmittel unter die Lider geschoben um das Auge vor unerwünschten Laserwirkungen zu schützen. Der Hautschutz des Patienten vor unbeabsichtigter Laserstrahlung kann mittels feuchten Kompressen erfolgen. Dies ist in den meisten Fällen ausreichend. Es ist darauf zu achten, dass sich keine brennbaren Stoffe, wie alkoholhaltige Desinfektionsmittel oder entflammbare Salben im Behandlungsgebiet befinden. [3]

### 5.1.4 Lasersicherheitsklassen

Klasse	Potentielle Gefahren/Bedeutung	Beispiel für maximale Ausgangsleistung für sichtbaren Bereich *)
Klasse 1	Augensicher - auch bei längerer (absichtlicher) Bestrahlung, auch bei Bestrahlung unter Verwendung von Lupen oder Ferngläsern	40 $\mu$ W im blauen Spektralbereich, 400 $\mu$ W im roten Spektralbereich
	Gekapselte Laser höherer Leistung. Durch die vollkommene Einhausung wird ein Austritt von Strahlung verhindert.	kein Strahlungsaustritt, auch nicht im Einfehlerfall
Klasse 1M	Augensicher für das freie Auge, auch bei längerer (absichtlicher) Bestrahlung, möglicher Augenschaden bei Bestrahlung unter Verwendung von Lupen oder Ferngläsern	wie Klasse 1, aber andere Messvorschrift
Klasse 2	Sichtbare Laser, augensicher bei kurzzeitiger Bestrahlung, auch bei Bestrahlung unter Verwendung von Lupen oder Ferngläsern	1 mW
Klasse 2M	Sichtbare Laser, augensicher bei kurzzeitiger Bestrahlung für das freie Auge, möglicher Augenschaden bei Bestrahlung unter Verwendung von Lupen oder Ferngläsern	wie Klasse 2, aber andere Messvorschrift
Klasse 3R	Praktisch keine Gefahr für Augenschaden bei kurzzeitiger unabsichtlicher Bestrahlung. Gefahr	5 mW im Sichtbaren, 5 x Klasse 1-Grenzwert im

	bei unsachgemäßer Verwendung durch nicht eingewiesenes Personal	Nicht-Sichtbaren
Klasse 3B	Gefahr für Augenschäden durch den direkten Strahl und spiegelnde Reflexionen innerhalb des Gefahrenbereiches. Möglichkeit für geringfügige Hautverletzung bei Leistungen nahe der Obergrenze	500 mW
Klasse 4	Gefahr für Augenschäden durch direkten und diffus reflektierten Strahl innerhalb des jeweiligen Gefahrenbereiches, Gefahr für Hautschaden, Brandgefahr	nach oben hin offen

Tab.6: Lasersicherheitsklassen übernommen aus 14

## 6 Wichtige dermatologische Indikationsstellungen

Im Folgenden sollen die wichtigsten Anwendungsgebiete der oben ausführlich beschriebenen Laser eingehend erläutert werden.

### 6.1 Vaskuläre Fehl- und Neubildungen

#### 6.1.1 Naevus flammeus

Definition: Es handelt sich um hellrote bis lividrote, scharf umschriebene Läsionen, welche aufgrund von Gefäßerweiterungen (Teleangiektasien) in der oberen Dermis zustande kommt.

Epidemiologie: Naevi flammei sind sehr häufig und können angeboren oder frühkindlich (meist in den ersten Lebenswochen) auftreten.

Ätiologie: Angeborene Fehlbildungen der Gefäße in der Dermis, Auslösefaktoren unbekannt.

Klinik: Bereits bei der Geburt vorhanden oder kurz danach auftretend imponieren Naevi flammei



Abb.4 Medialer Naevus flammeus bei einem 12 – jährigen Knaben

als blassrosa bis lividrote, scharf begrenzte Farbveränderungen der Haut.

Symptome oder klinische Beschwerden treten nicht auf.

Es werden mediale (symmetrische) und laterale (asymmetrische) Naevi flammei unterschieden. Bei den medialen handelt es sich um Veränderungen vor allem im Nacken oder Stirnbereich. Diese Farbveränderungen werden oft auch als „Storchenbiss“ bezeichnet und bilden sich in den meisten Fällen bis zum 2. Lebensjahr zurück.

Laterale Naevi flammei hingegen treten seltener auf und sind einseitig, oft im Gesichtsbereich lokalisiert. Sie haben keine Rückbildungstendenz, im Gegenteil oft entwickeln sich im Erwachsenenalter exophytisch wachsende, kugelige gutartige Hämangiome auf Boden eines Naevus flammeus, außerdem können sie

mit den Jahren einen dunkleren Farbton annehmen. Die lateralen Naevi flammei kommen auch in einer Reihe von komplexen Fehlbildungssyndromen (Sturge-Weber-Syndrom, Von-Hippel-Lindau-Syndrom, Klippel-Trenaunay-Syndrom) auftreten und tragen zur Diagnostik dieser bei. Diese Erkrankungen zählen zu den Phakomatosen, welche mit Fehlbildungen der Haut und des Nervensystems einhergehen. Gekennzeichnet sind Phakomatosen vor allem durch das Auftreten von Hamartomen. Tabelle 6.1.1. gibt eine Übersicht über die Erkrankungen, welche dem Formenkreis der Phakomatosen zugeordnet werden.

<b>Phakomatosen</b>		
<b>Erkrankung</b>	<b>Hauptsymptome</b>	<b>Hautbeteiligung</b>
Neurofibromatose Typ 1 Recklinghausen	Periphere Neurofibrome	Café – au – lait - Flecken
Tuberöse Sklerose Bourneville - Pringle	Epilepsie, progressive geistige Behinderung	Adenoma sebaceum
Retino – cerebelläre Angiomatose Hippel – Lindau	Hämangiome Retina und Cerebellum	ev. lateraler Naevus flammeus
Enzephalo – faciale Angiomatose Sturge – Weber	Hirngangiome (v.a. über Parietallappen), Hemiparese, fokale Anfälle	Naevus flameus (im Bereich des 1. – 2. Trigeminusast)
Ataxia teleangiectatica Louis – Bar	Ataxie, Teleangiektasie (Sklera, Ohr, Halsbereich)	Teleangiektasien
Peutz – Jeghers – Syndrom intestinale Polyposis	Intestinale Harmatome (Polyposis)	Pigmentflecken (Haut und Schleimhäute)
LEOPARD - Syndrom Akronym für: - <b>L</b> entiginose - <b>E</b> KG – Veränderungen - <b>O</b> kulär (Hypertelorismus) - <b>P</b> ulmonalstenose - <b>A</b> nomalien der Geschlechtsorgane - <b>R</b> etardiertes Wachstum - <b>D</b> eafness (engl. für Taubheit)	EKG – Veränderungen(Schenkelblock), Hypertelorismus, Pulmonalstenose, Genitalfehlbildungen (Hypospadie, Kryptorchismus), Wachstumsretardierung (inkl. Scapula alata, Trichterbrust, Überstreckbarkeit der Gelenke), Taubheit	Lentiginos

Tab. 7 Übersicht Phakomatosen [9]

Äußerst selten können Naevi flammei auch erworben werden. In diesen Fällen sind Traumen, Hormonstörungen oder Medikamente ursächlich zugrunde liegend. Histopathologie: Es liegen Störungen in der Innervation des betroffenen Gefäßes vor. Dadurch kommt es zu einem verminderten Gefäßtonus, was wiederum zu einer kapillaren Erweiterung im oberen Bindegewebe, entsprechend einer

Teleangiektasie führt.

Diagnostik: Das klinische Bild stellt die Diagnose. [9]

Therapie: Die Notwendigkeit einer Behandlung ergibt sich meist aus ästhetischen und damit verbundenen psychosozialen Gründen.

Behandlung:

FPDL (Blitzlampen-gepumpter Farbstofflaser 585nm, 595nm)

Dieser Laser stellte die Therapie der Wahl für Naevi flammei dar. Er kann auch wegen einer geringen Nebenwirkungsrate bei Kleinkindern eingesetzt werden.

Um sich aber von der Sensitivität des Feuermals zu überzeugen, d.h. von der zu erwartenden Aufhellung der Läsion, wird vor der definitiven Behandlung eine

Probebehandlung mit wenigen Laserimpulsen durchgeführt. Dabei wird der Laserstrahl mit den für die geplante Behandlung sinnvollen Parametern

angewandt. Meist handelt es sich um eine Impulsdauer von 0,45ms,

Strahldurchmesser (=Spotsize) von 7mm und Leistung zwischen 8-10J/cm<sup>2</sup>.

Sollten nach 8 bis 12 Wochen die Stellen der Probebehandlung eine deutliche Aufhellung aufweisen, kann mit der Behandlung der gesamten betroffenen Fläche

begonnen werden. Eine Anästhesie ist im Erwachsenenalter auch bei

großflächiger Ausdehnung nur selten erforderlich. Obligat hingegen ist die

Kühlung der Hautoberfläche zur Schmerzreduktion. Bei Kindern ist meist eine

Allgemeinnarkose erforderlich. Erwachsene können mit etwas höheren

Energiedichten behandelt werden. Um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu

erhalten sollte eine 10%ige Überlappung der Impulse angestrebt werden. Dies

verhindert das Auftreten von Restarealen.

Nebenwirkungen

Eine in fast allen Fällen auftretende transiente Nebenwirkung ist eine etwa 10 bis 14 Tage andauernde Purpura, die durch die unmittelbar nach dem Laserimpakt

eintretende Gefäßruptur zustande kommt und erst langsam durch Makrophagen beseitigt wird. In 20% der Fälle kommt es zu Bläschenbildung und Krusten.

Weiteres sind Veränderungen der Hautpigmentierung möglich

(Hyperpigmentierung 30%. Hypopigmentierung 2%). Außerdem kommt es selten

zu Narbenbildung (atrophe Narben 4,3%; hypertrophe Narben 1%). Wichtig in

diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass die gleichzeitige Einnahme von

Isotretinoin (Aknebehandlung) das Risiko einer hypertrophen Narbe nach FPDL-Therapie erhöht, dies impliziert, dass unter Isotretinoinbehandlung von einer FPDL-Behandlung abzuraten ist.

## Ergebnisse

Abhängig von Lokalisation, Farbe des Naevus flammeus, Anzahl der Behandlungen und Alter der PatientInnen werden verschiedene Ergebnisse beschrieben. Im Allgemeinen gilt, dass Feuermale im Gesichts- und Halsbereich und bei Kindern die besten Ergebnisse liefern. Selbst im Gesicht gibt es je nach Lokalisation unterschiedliche Behandlungsergebnisse. So spricht der zentrofaziale Bereich deutlich schlechter auf die Behandlung an als die Periorbitalregion, Stirn, Hals und Nacken. Die Größe der Läsion ist auch ausschlaggebend für das Resultat der Lasertherapie. Je kleiner der Naevus desto besser das Ergebnis. Eine Wiederholung der Therapie bringt im Allgemeinen eine Verbesserung des Endbildes, jedoch wird die stärkste Regression in den ersten drei bis fünf Behandlungen erreicht. Außerdem ist zu beachten, dass vor allem Feuermale mit großen, oberflächlichen Gefäßen deutlich besser auf die FPDL – Therapie ansprechen als solche mit tiefliegenden kleineren Blutgefäßen. Weitere Kriterien die sich auf das Behandlungsergebnis auswirken sind die Dicke der Haut, der unterschiedliche Blutfluss in den verschiedenen Regionen des Feuermals und die optischen Eigenschaften der Haut.

## FPDL – resistente Naevi Flammei

Es gibt durchaus Feuermale, welche nicht auf die Therapie mit FPDL ansprechen. In diesem Fall kommen Therapieversuche mit LPTDL, fdNd:YAG – Laser, gepulster Nd:YAG Laser und hochenergetische Blitzlampen (intensive pulsed light= IPL-Geräte) in Frage. Die Entscheidung welcher Laser oder ob IPL-Geräte für die Behandlung eingesetzt wird hängt von den Probebehandlungen mit den unterschiedlichen Lasern ab. [3]

## 6.1.2 Hämangiome

Definition: Sog. Kindliche Hämangiome sind gut umschriebene Gefäßneubildungen in der Haut von variabler Ausdehnung. Sie treten bevorzugt im Kindesalter auf, sind gutartig und weisen eine hohe Rückbildungstendenz auf. Eruptive (Häm)angiome gehören zu den obligaten Altersveränderungen der Haut und sind meist nur wenige Millimeter groß.



Abb.5: Kindliches Hämangiom

Epidemiologie: Kindliche Hämangiome sind relativ häufig (5 – 10%), werden nicht vererbt und kommen vor allem frühkindlich vor oder sind angeboren. Eruptive Angiome sind harmlose Altersveränderungen, sie sind wenige Millimeter groß, ihre Ursache ist nicht bekannt.

Ätiologie: Es handelt sich um umschriebene, gutartige Gefäßneubildungen.

Klinik: Kindliche Hämangiome imponieren meist direkt nach der Geburt als blassblaue bis schwarzblaue Gefäßgeschwülste in oder unter der Haut. Sie sind in den meisten Fällen gut begrenzt, flach bis kugelig, weich und können in der Größe stark variieren (erbsengroß bis faustgroß). Frühkindliche Hämangiome durchlaufen eine typische Entwicklung. So kann in den ersten 9 bis 12 Lebensmonaten ein deutliches Wachstum beobachtet werden. Danach haben Hämangiome die Tendenz sich wiederum zurückzubilden. Meist dauert diese Rückbildungsphase bis zum 6. - 9. Lebensjahr. In den meisten Fällen kommt es zu einer vollständigen Regression. Es können aber auch kleine Narben oder atrophe Bereiche mit Teleangiektasien zurückbleiben. Es können nach Ausmaß und Gefäßsprossung plane, tuberöse und kavernöse Hämangiome unterschieden werden.

Eruptive Angiome kommen vor allem am Stamm vor und können aus ästhetischen Gründen mittels Laserbehandlung leicht entfernt werden.

Hämangiome können aber auch im Rahmen von komplexen Krankheitsbildern auftreten. Meist handelt es sich dann um multiple Hämangiome der Haut als auch der inneren Organe. Als Beispiele sollen das Maffucci-Syndrom (Hämangiomatose

mit Chondrodysplasie) und das Kasabach-Merritt-Syndrom (multiple Hämangiome, Verbrauchskoagulopathie und Blutungsneigung) genannt werden.

Histopathologie: Es handelt sich um echte kapillare Gefäßneubildungen, welche im Bereich der Cutis und Subcutis herdförmig proliferieren.

Diagnostik: Die Diagnose wird mittels Blickdiagnostik gestellt. Die Abgrenzung zu vaskulären Malformationen ist oft schwierig.

Therapie: Nachdem es sich bei kindlichen Hämangiomen um Läsionen mit Selbstrückbildungstendenz handelt, ist eine aktive Therapie meist nicht notwendig. In einigen ausgewählten Fällen, vor allem wenn die Läsion eine Funktion oder Entwicklung eines Organs beeinträchtigt muss aktiv vorgegangen werden. Dies ist z.B. der Fall wenn das Hämangiom an der Nase sitzt und Atemstörungen hervorruft oder wenn sich das Hämangiom im Periorbitalbereich befindet und es dadurch den Visus beeinträchtigt bzw etwa auch zum Schielen kommt. [9]

Behandlungsmöglichkeiten:

1.) FPDL (Blitzlampen-gepumpter Farbstofflaser 585 nm)

Vor allem flach erhabene oder makulöse Hämangiome stellen eine Indikation für die FPDL-Therapie dar. Durch mehrfache Behandlungen sind auch bei stärker exophytischen Hämangiomen gute Ergebnisse erzielbar. Mit der FPDL-Therapie soll in erster Linie ein Wachstumsstopp bzw. die Rückbildungstendenz angeregt werden.

Bestrahlungsparameter: Energiedichte: 7 – 10 J/cm<sup>2</sup> bei einer spot size von 5mm, 5 – 9 J/cm<sup>2</sup> bei einer spot size von 7mm. Hämangiome werden mit überlappenden Impulsen behandelt. Zur Behandlung großer Läsionen ist bei Kindern eine Allgemeinanästhesie erforderlich, bei eruptiven Angiomen ist meist gar keine Anästhesie notwendig.

Nebenwirkungen

Die typischen Nebenwirkungen der FPDL – Therapie sind blauschwarze Verfärbungen, Blasenbildung, Verkrustung und in manchen Fällen flache atrophische Areale nach Abheilung des behandelten Gebietes.

Ergebnisse

Werden flach erhabene oder makulöse Hämangiome behandelt, so kommt es in bis zu 70% der Fälle zu einem Wachstumsstillstand oder einer Remission. Durch wiederholte Anwendung (mindestens zwei bis vierwöchige Abstände) ist eine weitere Verbesserung des Zustandes zu erwarten. Bei stärker exophytischen

Hämangiomen sind oft mehrere Behandlungen notwendig um ein gutes Ergebnis zu erzielen, wobei die Erfolgsaussichten generell schlechter sind, da sich der subkutane Teil eines Hämangioms in der Regel nicht behandeln lässt. Schlechtes Ansprechen auf die Lasertherapie ist auch bei Hämangiomen mit hohem Blutfluss zu erwarten. Es werden aber bei 96% der behandelten Hämangiome ein Wachstumsstopp bzw. eine Regression beobachtet. Je kleiner die Hämangiome zu Therapiebeginn sind, desto besser ist die Ausgangssituation für die Laser – Therapie. [3]

#### 2.) cw Nd:YAG – Laser (1064nm)

Dieser Lasertherapie werden vor allem stark exophytische und subcutane Hämangiome zugeführt. Diese Behandlungen können nur in Vollnarkose durchgeführt werden. (Bestrahlungsparameter: 25 W bei spot size von 2 – 3 mm. ) Ziel der Therapie mit cw Nd:YAG – Laser ist eine tiefe Koagulation. Diese zeigt sich bereits intraoperativ durch eine deutliche Schrumpfung des Hämangioms. Die Behandlung mit dem cw Nd:YAG Laser in dieser Indikation setzt aber viel Erfahrung durch den/die Behandler/in voraus und sollte daher nur in speziellen Zentren durchgeführt werden. [3]

#### 3.) Weitere Behandlungsmöglichkeiten:

Intraläsionelle Behandlung mit einem Nd:YAG – Laser: Es werden bei dieser Art von Behandlung sterile Quarzfasern über eine Punktionskanüle in das Hämangiom eingebracht. Das Hämangiom wird dann unter Ultraschallkontrolle von innen koaguliert.

KTP-Laser: Kleine umschriebene Hämangiome können auch mit einem KTP-Laser behandelt werden. Dabei werden folgende Einstellungen verwendet: spot size: 2 – 3 mm; 3 W, Impulsdauer 0,5 s. Bei der Behandlung mit einem Argonlaser ist aber darauf zu achten, dass diese deutlich schmerzhafter ist als mit einem Farbstofflaser und dass es auch häufiger zu Narbenbildungen kommen kann. [3]

### **6.1.2.1 Teleangiektasien**

Definition: Es handelt sich um erweiterte Kapillaren in der Haut. Diese können einzeln oder flächenhaft auftreten. Sie treten vor allem an den Wangen auf (Couperose).

Ätiologie: Essentielle (primäre) Teleangiektasien haben keine Entstehungsursache, sie können spontan oder familiär gehäuft auftreten. Es gibt zwei Sonderformen der primären Teleangiektasien. Die progressive essentielle disseminierte Teleangiektasie breitet sich an Extremitäten, Stamm und Gesicht aus. Die zweite Sonderform ist das unilaterale nävoide Teleangiektasie – Syndrom, das vor allem im jugendlichen Alter vorkommt und auf hormonelle Störungen zurückzuführen ist.

Bei den sekundären Teleangiektasien gibt es einige Ursachen wie z.B. chronische Lichtexposition, Rosacea, chronisch venöse Insuffizienz, Sklerodermie, Lupus erythematodes, CREST-Syndrom, Alkoholabusus, Traumen sowie das Louis-Bar-Syndrom und das Bloom-Syndrom. Beim Louis-Bar-Syndrom (Ataxia teleangiectica) handelt es sich um einen Immundefekt mit Beteiligung des Nervensystems, der Blutgefäße (Teleangiektasie) und des Immunsystems (zelluläre und humorale Abwehr). Im 12. – 18. Lebensmonat wird die Krankheit erstmals auffällig durch eine Ataxie, später kommt es zu weiteren neurologischen Ausfällen. Teleangiektasien treten im Alter von 2 bis 8 Jahren in den Skleren, den Ohren und später im Halsbereich und an den Gliedmaßen auf. Rezidivierende Infekte des Respirationstraktes sind typisch.

Das Bloom-Syndrom ist eine seltene autosomal-rezessiv vererbte Erkrankung. Bereits im 1. Lebensjahr tritt ein teleangiektatisches Erythem im Gesichtsbereich auf. Darüber hinaus leiden diese Patienten/innen an Lichtempfindlichkeit und Mikrozephalie. Es besteht auch eine verstärkte Anfälligkeit gegenüber Infekten, aufgrund Chromosomenanomalien in Leukozyten. Als Späterkrankungen treten gehäuft Karzinome und Leukämien auf.

Klinik: Teleangiektasien sind per se nicht schmerzhaft und zeigen keine Symptomatik. Bei den sekundären Formen sind vor allem die Symptome der Grunderkrankungen bedeutungsvoll.

Diagnostik: Das klinische Bild ist diagnostisch. [9]

Therapie:

1.) KTP-Laser

Diese Lasertherapie stellt die bestmögliche Behandlungsoption für Teleangiektasien.

Bestrahlungsparameter:

Teleangiektasien mit Durchmesser von 0,5mm: 1 – 1,5 W bei spot size 0,5 – 1 mm,

Impulsdauer von 0,2 – 0,3 s. Der Abstand wird mit 1 mm gewählt und die Impulse entlang des Gefäßverlaufes gesetzt. Die Behandlung ist meist ohne Anästhesie möglich.

#### Nebenwirkungen

Nebenwirkungen treten bei dieser Art von Lasertherapie selten auf. Wird im Bereich des Lides behandelt, kann es vorübergehend zur Schwellung dieser kommen. Krüstchen- und Bläschenbildungen sind auch möglich. Fleckige Hyperpigmentierungen im behandelten Areal sind möglich, können aber mit gutem Lichtschutz vermieden werden.

#### Ergebnisse

Nach drei bis vier Behandlungen sind deutlich erkennbare Gefäßerweiterungen in 90 % der Fälle ausreichend therapiert. Bei PatientInnen mit feinen Teleangiektasien und begleitender Rötung der Wangen sind die Ergebnisse oft nicht zufriedenstellend, da die KTP-Laserpunkte sichtbar sind und dadurch ein fleckiger Eindruck entsteht. In diesen Fällen ist eine Therapie mit FPDL zu überlegen. Auch stark ektatische Gefäßerweiterungen, wie sie bevorzugt am Nasenrücken vorkommen, sprechen schlecht auf die Lasertherapie an. Bessere Ergebnisse können in diesen Indikationsstellungen mit einer Sklerosierung oder LPTDL erzielt werden.

#### 2.) FPDL

Als Hauptindikation für die Therapie mit FPDL sind sehr dünne arachnoidale Teleangiektasien anzuführen. Es sind aber mehrere Behandlungswiederholungen erforderlich um ein zufriedenstellendes Behandlungsergebnis zu erzielen.

Behandlungsparameter: 6J/cm<sup>2</sup> bei spot size 7mm

Gefäßerweiterungen im Rahmen des unilateralen nävoiden Teleangiektasie – Syndroms sprechen gut auf die Behandlung mit FPDL an, rezidivieren aber schnell. [3]

#### 3.) Weitere Behandlungsmöglichkeiten

Bei der Behandlung mit fd Nd:YAG-Laser konnte in einer Studie mit 40 Patienten eine Aufhellung in 90% der Fälle erreicht werden [20]

Außerdem können hochenergetische Blitzlampen (IPL) oder cw-CO<sub>2</sub>-Laser mit kleinem spot size und niedrigen Leistungen zur Behandlung der Teleangiektasien eingesetzt werden. [3]

### **6.1.3 Mb. Osler (Teleangiektasia hereditaria haemorrhagica)**

Definition: Der Mb. Osler ist eine autosomal–dominant vererbte Erkrankung, die mit kleineren und größeren Gefäßektasien der Haut und inneren Organe vergesellschaftet ist.

Klinik: Erstaufretendes Symptom ist Nasenbluten (Epistaxis) im Kindes- und Jugendalter. Es treten gleichzeitig oder erst später multiple Angiome und Gefäßektasien vor allem in der oberen Körperhälfte auf. Außerdem ist ein Befall der Schleimhäute und des Gastrointestinaltrakts typisch. Bei einer Beteiligung der inneren Organe sind Epistaxis, Hämoptyse, Hämaturie und Teerstühle die häufigsten Symptome.

Diagnostik: Anamnese und klinisches Bild stellen die Diagnose. [9]

Therapie:

Lasertherapie:

Mit einem KTP-Laser können angiomatöse Knötchen koaguliert werden.

Bestrahlungsparameter: >2W bei spot size 2mm und Impulsdauer von 0,5 s.

Nicht immer kann eine vollständigen Entfernung herbeigeführt werden.

Läsionen der Schleimhäute werden mit cw Nd:YAG-Laser koaguliert. [3]

### **6.1.4 Besenreiser**

Definition: Besenreiser sind unter der Haut verlaufende kleine Venen, welche aufgrund von Bindegewebsschwäche und einem veränderten Venendruck erweitert sind und als Gefäßbäumchen sichtbar werden. Die Erhebung eines umfassenden dopplersonographischen Venenstatus ist bei ausgeprägter Besenreiserbildung jedenfalls sinnvoll um schwerwiegende Folgen einer venösen Insuffizienz und eine Seitenast-, Perforans- oder Stammvarikose auszuschließen. [3; 9]

Therapie der Wahl stellt nach wie vor die Sklerosierung dar. Die Lasertherapie zeigte bislang in der Behandlung von besenreisern keine zufriedenstellenden Ergebnisse.

Laser-Behandlungsmöglichkeiten:

Andere Laser wie Diodenlaser, Alexandritlaser, fd: Nd:YAG – Laser und hochenergetische Blitzlampen werden zur Therapie von Besenreisern erst in

klinischen Studien auf ihre Effektivität überprüft, wobei durchaus bereits brauchbare Ergebnisse vorliegen. Zum Beispiel wurde der fd Nd:Yag-Laser in einer Studie bei Besenreiser mit einem Gefäßkaliber von bis zu 0,7mm als Therapieoption getestet. Behandelt wurden 65 Patienten mit 1 mm spot size, 15 – 16 J/cm<sup>2</sup> und einer Impulsdauer von 10µs. Es zeigte sich ein durchaus gutes Ansprechen, allerdings ist das Behandlungsergebnis erst Monate nach der Behandlung beurteilbar, da die Abheilung lange Zeit in Anspruch nimmt. [21; 3]

### **6.1.5 Erythosis interfollicularis colli**

Es handelt sich um eine Verfärbung durch chronische Lichtexposition hervorgerufen am Hals und Dekolleté. Die Erythosis interfollicularis colli tritt typischerweise bei Menschen im mittleren Lebensalter auf. Die Verfärbung imponiert als feine Teleangiektasie, welche die Haarfollikel ausspart und mit fleckigen Hyperpigmentierungen einhergeht. [9]

Behandlungsmöglichkeiten:

#### 1.) FPDL

Zunächst müssen die PatientInnen ausführlich über die Behandlung aufgeklärt werden. Erfolgsaussichten und Risiken sollten mit dem/der Patient/in ausreichend besprochen werden, da es bei dieser Art von Lasertherapie zu unerwünschter ungleichmäßiger Aufhellung der meist großflächigen Läsion kommen kann. Es wird zunächst eine Probebehandlung durchgeführt. Zeigt sich ein zufriedenstellendes Ergebnis so wird mit der eigentlichen Behandlung begonnen. Bestrahlungsparameter: 5 – 5,5 J/cm<sup>2</sup> bei spot size von 7mm.

Es werden überlappende Impulse gesetzt. Es lässt sich in den meisten Fällen eine Besserung im Sinne einer Aufhellung erzielen, jedoch ist diese oft unregelmäßig und der Übergang zur nicht behandelten Haut sichtbar. So kann ein fleckiger Eindruck entstehen. Außerdem bleiben manchmal retikuläre Residuen zurück. [3]

## **6.2 Epidermale Naevi**

### **6.2.1 Verrucöse epidermale Naevi**

Definition: Ein epidermaler Naevus ist angeborene naevoide Neubildung und stellt sich als streifige Verdickung der Epidermis mit Hyperkeratose dar.

Epidemiologie: Diese Läsion kommt relativ häufig vor, ist bei der Geburt bereits vorhanden oder entwickelt sich im frühkindlichem Alter.

Klinik: Epidermale Naevi verursachen in manchen Fällen Juckreiz oder führen zu entzündlichen Reaktionen. Es werden zwei Formen unterschieden: umschriebene, streifig verrucöse, weiche Form und linear, bzw. halbseitig systemische auftretende verrucöse Form. Als Sonderform ist noch der ILVEN (inflammatory linear verrucous epidermal naevus) zu nennen. Es handelt sich um eine entzündliche, lineare verrucöse Form des epidermalen Naevus.

Diagnostik: Epidermale Naevi werden histologisch diagnostiziert. Es zeigen sich in der Epidermis akanthotische Verdickungen mit Hyperkeratose und Papillomatose.

Therapie: Da es sich um eine gutartige Läsion ohne maligner Entartungstendenz handelt, wird eine Therapie nur auf PatientInnenwunsch durchgeführt. Es kann eine Exzision des epidermalen Naevus, oft in Serien, durchgeführt werden. [9]

Behandlungsmöglichkeiten:

#### 1.) KTP-Laser

Vor allem weiche papillomatöse epidermale Naevi sprechen gut auf die KTP-Laser – Therapie an. Kleine umschriebene Naevi können vollflächig koaguliert werden.

Wenn aber großflächige Läsionen vorliegen, sollte ein streifiges Vorgehen in Erwägung gezogen werden um eventuelle Narbenkontrakturen zu vermeiden.

Bestrahlungsparameter: 1 – 3 W bei spot size 2 – 4 mm und einer Impulsdauer von 0,5 s.

Nach der Behandlung kommt es zur Schrumpfung der papillomatösen Anteile und zu einer grau-weiß Färbung im behandelten Areal. Anschließend bildet sich innerhalb von einigen Tagen eine Kruste, innerhalb von zwei Wochen kommt es zur Abheilung. In den meisten Fällen ist eine Anästhesie nicht erforderlich, außer bei Kleinkindern oder großflächiger Ausbreitung der Läsion. Während bei ca. 80% der weichen Naevi mit der Lasertherapie ein durchaus zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden kann, so sprechen harte, keratotische Naevi kaum bis gar nicht an. [3]

## 2.) CO<sub>2</sub> – Laser

Diese Lasertherapie wird vor allem bei dickeren exophytischen Veränderungen, welche auf die Laserkoagulation nicht ansprechen, eingesetzt. Die Läsionen werden mit einer Leistung zwischen 10W und 30 W abgetragen. Um eine Narbenbildung zu vermeiden sollte die Abtragung nur oberflächlich bis ins Stratum papillare erfolgen. Rezidive sind häufig. [3]

## **6.3 Pigmentierte Hautveränderungen**

### **6.3.1 Aktinische Lentigines (Lentigines solares, seniles)**

Definition: Es handelt sich um erworbene, scharf umschriebene makulöse, durch vermehrte Einlagerung von Melaningranula bedingte, Hyperpigmentierungen, welche in der Farbe von hell- bis dunkelbraun variieren können.

Ätiologie: Durch chronische UV-Exposition kommt es zur Ausbildung dieser Altersflecken (Lentigines seniles, Lentigines solares). Typische Lokalisationen sind vor allem Handrücken, Unterarme und Gesicht.

Histopathologie: In der Basalschicht der Epidermis kommt es zu einer reaktiven Vermehrung der Melanozytenzahl und zu einer erhöhten Melanineinlagerung.

Klinik: Lentigines machen keinerlei Beschwerden, jedoch können sie vor allem bei multiplen Vorkommen Hinweis auf assoziierte Syndrome geben. Zu nennen sind das Peutz-Jeghers-Syndrom, LEOPARD-Syndrom, NAME-Syndrom und Carney-Syndrom. [9]

Therapiemöglichkeiten:

#### 1.) q-switched-Rubin- (QSRL)/ q-switched-Nd:YAG (532/1064 nm)-Laser

Die Behandlung von Lentigines ist mit allen q-switch-Lasersystemen bereits nach einer, maximal zwei Behandlungen äußerst erfolgreich. [28]

Bestrahlungsparameter QSRL: 4 – 6J/cm<sup>2</sup> bei einer Impulsdauer von 40 ns.

Nach der Behandlung mit einem QSRL kommt es zu einer leichten Weiß – grau Verfärbung des behandelten Areal. In manchen Fällen kann es auch zu einer Erythembildung kommen. Die Nebenwirkungsrate ist aber bei richtiger Wahl der Bestrahlungsparameter gering. Gelegentlich können passagere Hyperpigmentierungen auftreten. [3]

#### 2.) Er:YAG-Laser

Mit dem Er:YAG-Laser können Lentigines sehr oberflächlich ablatiert werden. Die kosmetischen Ergebnisse sind zufrieden stellend. Es entstehen oberflächlich erosive Areale, welche unter geringer Krustenbildung innerhalb weniger Tage abheilen.

Bestrahlungsparameter: 500 – 600 mJ/ Puls (mittlere Pulsenergie).[3]

### **6.3.2 Café-au-lait-Flecken**

Es handelt sich um umschriebene, milchkaffee-farbige, oft unregelmäßig aber scharf begrenzte Flecken. Die hyperpigmentierten Maculae zeigen in der Epidermis eine verstärkt pigmentierte Basalzellschicht. Bei multiplen Café-au-lait-Flecken muss an assoziierte Syndrome gedacht werden. Wichtig zu nennen ist die Neurofibromatose (Mb. Recklinghausen).

Therapie: Da es sich bei den Café-au-lait-Flecken meist um großflächigere Veränderungen handelt, ist eine Therapie mit abtragenden Lasern aufgrund der hohen Gefahr einer Narbenbildung nicht zu empfehlen. [9;3]

Behandlungsmöglichkeiten:

1.) QSRL/Qs – Nd:YAG (532/1064 nm)

Die Einstellungsparameter zur Behandlung der Café-au-lait-Flecken werden wie bei Lentigines gewählt. Die Ergebnisse sind interindividuell sehr verschieden. Es kann nach der Behandlung sowohl zu einer Hyper – als auch Hypopigmentierung kommen. Auch Rezidive sind nicht auszuschließen. In jedem Fall ist aber eine Probebehandlung mit den unterschiedlichen Lasersystemen durchzuführen, um einen möglichst guten Therapieerfolg zu erreichen. [3]

### **6.3.3 Naevi spili**

Der Naevus spilus ist ein Café-au-lait-Fleck mit eingesprenkelten Pigmentnestern. Histologisch handelt es sich um die Kombination von Café-au-lait-Fleck und junctionalem Naevuszellnaevus. Die Veränderungen sind meist mittelbraun, umschrieben mit darin eingelagerten, kleinen, dunkelbraunen Anteilen. [9]

Lasertherapie:

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass der Qs-Rubinlaser mit höheren Energiedichten (5-8 J/cm<sup>2</sup>) und einer Behandlungsdauer von bis zu fünf Sitzungen eine Aufhellung der Läsion erreichen kann. [22]

Mit den anderen pigmentselektiven Lasern ist der Anteil der Rezidivrate hoch, wobei vor allem der Café-au-lait-Anteil besonders dazu neigt. Eine Laserbehandlung ist aber erst nach einer Probebehandlung mit entsprechender Nachbeobachtungszeit zu empfehlen. [3]

Alternativ zu einer Lasertherapie kann der Naevus spilus mittels Dermabrasio behandelt werden. [9;3]

#### **6.3.4 Naevuszellnaevi**

Definition: Naevuszellnaevi entstehen durch Ansammlung von Naevuszellen, die eng mit den dendritischen Melanozyten verwandt sind. Naevuszellen sind jedoch kugelig bis spindelförmig, können Melanin enthalten, dieses aber nicht an die umliegenden Zellen abgeben.

Naevuszellnaevi können nach dem Sitz der Zellnester unterteilt werden:

- Junctionsnaevus: treten in der dermo-epidermalen Übergangszone auf
- Compound-Naevus: die Pigmentzelllager liegen überwiegend in der Dermis
- Dermaler Naevus: sind der Endzustand der Naevusentwicklung, liegen ausschließlich in der Dermis

Klinik: Naevuszellnaevi treten in den unterschiedlichsten Farben und Formen auf und entwickeln sich in der Pubertät zu ihrer definitiven Farbe und Größe. Bei den Naevuszellnaevi kann eine Evolution beobachtet werden. Sowohl bindegewebige oder lipomatöse Umwandlungen als auch Rückbildungstendenzen sind möglich. Sie können auch dysplastisch werden und somit Vorläuferläsionen einer Melanomentwicklung sein.

Therapie: Die Naevi sollten jährlich kontrolliert werden um eine eventuelle Entwicklung in Richtung Dysplasie oder Melanom nicht zu übersehen.

Dysplastische Naevi werden einer Exzisionsbiopsie mit anschließender Histologie zugeführt. Die Exzision ist, vor allem auch wegen der anschließenden histologischen Abklärung, Therapie der Wahl. [9]

Lasertherapie:

Indikationsstellungen für die Lasertherapie stellen klar benigne, dermale Naevi, Frühablation kongenitaler Naevi und Einzelfälle, bei denen keine andere Therapie möglich ist, dar.

Mit dem fd-Nd:YAG -Laser oder KTP-Laser, kann eine Koagulation, allerdings nur bei sehr oberflächlichen Junktionsnaevi erreicht werden. Wird eine tiefere Koagulation mit längerer Pulszeit durchgeführt, kommt es in jedem Fall zu einer thermischen Schädigung der Dermis und damit zu konsekutiver atropher oder hypertropher Narbenbildung. Außerdem kommt es häufig zu Rezidiven, da dermale Naevuszellnester nicht erreicht werden können. Darüber hinaus ist eine histologische Abklärung nicht möglich.

Der Er:YAG-Laser stellt bei tiefen, dunklen, kongenitalen Naevi eine Therapieoption dar. Die Dermablation wird in den ersten Lebenswochen mit hoher Pulsenergie und hoher Repetitionsfrequenzen durchgeführt. Alternativ kann eine Dermabrasion mit einer Diamantfräse durchgeführt werden. Vorteil der Lasertherapie in dieser Indikation ist, dass auch Stellen, wie Lider oder Orbitabereich gelasert werden können, während hier die Dermabrasion meist nicht möglich ist.

Die Behandlung der Naevuszellnaevi mit den derzeit gängigen Lasersystemen ist in den meisten Fällen nicht zielführend. Es kommt sehr oft zu Rezidiven und eine zufriedenstellende Aufhellung kann in vielen Fällen nicht erreicht werden. [3]

## **6.4 Tätowierungen**

### **6.4.1 Schmucktätowierungen/Permanent-Make-up**

Unter Schmucktätowierung versteht man eine permanente Farbänderung der Haut durch absichtliches Einbringen von Farbpartikel. Unterschieden werden können Laientätowierungen von professionellen Tätowierungen und Permanent-Make-up. Bei den Laientätowierungen handelt es sich um Einbringen von Tusche oder Tinte mittels spitzen Gegenständen in die Haut. Bei professionellen Arbeiten werden die Pigmente mit speziellen Tätowiernadeln eingebracht, was zu einer wesentlich höheren Pigmentdichte führt. Für schwarze Tätowierungen wird Tusche verwendet, für die farbigen Anteile spezielle Tätowierungsfarben. Deren Zusammensetzung ist von Hersteller zu Hersteller sehr verschieden, es handelt sich aber in den meisten Fällen um organische Pigmente wie z.B. Mono- und

Disazofarbstoffe oder polyzyklische Farbstoffe aus der Gruppe der Phthalocyanine.

Mit hochenergetischem Laserlicht ist derzeit die weitgehend narbenlose Entfernung von schwarzen oder schwarzblauen Schmucktätowierungen möglich.

[3]

Lasertherapie:

Histologische Untersuchungen haben gezeigt, dass die Pigmentdichte nach einer Lasertherapie deutlich verringert ist.

Um eine Zerstörung der Farbpigmente zu erreichen sind kurze Impulsdauern im Nanosekundenbereich erforderlich. Als Voraussetzung gilt auch, dass die Farbpigmente, das eingestrahlte Licht absorbieren können. Blau-schwarze Pigmente absorbieren alle Wellenlängen, während die farbige Pigmente sehr unterschiedliche Absorptionsverhalten zeigen. Daher ist es im Einzelfall auch nicht vorauszusagen, wie das Endergebnis aussehen wird. Im Zweifelsfall wird bei farbigen Tätowierungen eine Probebehandlung durchgeführt. Generell sind für die Entfernung einer Tätowierung immer mehrere Sitzungen notwendig. Schwarze Tätowierungen können bereits nach drei bis fünf Behandlungen ausreichend aufgehellt worden sein, während bei mehrfarbigen deutlich mehr Behandlungen notwendig sind, manche Farben (gelb, weiss, orange, hellblau) lassen sich mit derzeitigen Möglichkeiten gar nicht entfernen. Außerdem sind bei professionellen Tätowierungen aufgrund der höheren Pigmentdichte mehrere Sitzungen erforderlich als bei Laientätowierungen. [3]

1.) Gütegeschalteter - Rubinlaser

Der gütegeschaltete Rubinlaser eignet sich vor allem bei schwarzen, blauschwarzen und dunkelblauen Pigmenten. Die Ergebnisse bei blauen und grünen Farbtönen sind sehr unterschiedlich, während rote, gelb – orange und hellblaue Pigmente fast gar nicht auf den Rubinlaser ansprechen.

Bestrahlungsparameter:  $10\text{J}/\text{cm}^2$  bei spot size von einigen Millimetern und Impulsdauern von 40 ns und darunter.

Die Behandlung erfolgt in den meisten Fällen ohne Betäubung. Direkt nach der Lasertherapie kommt es zu einer weißlichen Verfärbung des behandelten Areal mit quaddelartiger Aufwerfung. Die Verfärbungen bilden sich innerhalb einiger Minuten zurück. Es kann auch zu punktförmigen Blutungen kommen, welche unter Krustenbildung gut abheilen. [3]

## 2.) Qs-Nd:YAG – Laser (532/1064 nm)

Bestrahlungsparameter: 12J/cm<sup>2</sup> bei spot size von 3 mm und Impulsdauern von 10 ns.

Der Nd:YAG – Laser hinterlässt eine geringere Weißfärbung des behandelten Areal als der Rubinlaser, während die punktförmigen Blutungen jedoch häufiger auftreten. Die Aufhellung der Tätowierung ist mit dem Rubinlaser vergleichbar, wobei bei einer Frequenzverdoppelung durch einen KTP-Kristall die Wellenlänge sich auf 532 nm halbiert und so auch von bestimmten Rottönen absorbiert wird, die auch aufgehellt werden können. [3]

## 3.) Weitere Behandlungsmöglichkeiten

Mit dem Qs – Alexandritlaser (755 nm; spot size 7mm; 8J/cm<sup>2</sup>; Impulsdauer 100ns) können gute Ergebnisse bei blauschwarzen Farbtönen erreicht werden. Darüber hinaus scheinen auch grüne, rote und purpurfarbene Pigmente auf diesen Laser anzusprechen.

Beim Pigmented-lesion dye laser (510 nm) werden gute Ergebnisse vor allem mit roten Pigmenten beschrieben. [3]

Nebenwirkungen:

Kommt es zum Auftreten von Blutungen, kann eine Infektion nicht ausgeschlossen werden. Als Prophylaxe eignen sich topische Antiseptika. Narbenbildungen sind eher selten. Es kann zu einer Störung der Oberflächenstruktur durch atrophe Areale kommen. Wichtig zu nennen sind auch die möglichen Farbumschläge. Insbesondere helle, rote Pigmente können nach einer Lasertherapie schwarz, grauschwarz oder dunkelgrün werden. Diese umgeschlagenen Farbtöne könnten auf eine weitere Lasertherapie ansprechen, jedoch kann nicht davon ausgegangen werden.

Im Modell konnten bei zwei Azofarbstoffen nach Lasertherapie Abbauprodukte mit karzinogenen oder toxischen Eigenschaften nachgewiesen werden. Ob dies eine klinische Relevanz hat, ist unwahrscheinlich, aber nicht auszuschließen.

Die Qs – Lasertherapie ist insgesamt als nebenwirkungsarm, effektiv und sicher in der Entfernung von Tätowierungen einzuschätzen. [3]

## **6.4.2 Schmutztätowierungen**

Unter einer Schmutztätowierung versteht man durch Verletzungen bei Unfällen eingebrachte Farbpartikel in der Haut. Darunter fallen Pulvereinsprengungen nach Explosionen, Straßenschmutz bei Stürzen oder auch Kohlestaub bei Bergarbeitern. Vor allem im Gesicht können solche Tätowierungen ästhetisch störend sein und nach einer Therapie verlangen. Therapie der Wahl stellt nach wie vor die frühe chirurgische Intervention im Sinne einer Bürstenbehandlung dar. Bei älteren Schmutztätowierungen oder bei durch eine Dermabrasion nicht erreichbare Pigmentresten kann die Qs – Lasertherapie zum Einsatz kommen. [3]  
Lasertherapie:

Es handelt sich bei Schmutztätowierungen meist um erdfarbene, schwarze oder graue Farbpigmente und sind mit denselben Lasern wie in Kapitel 6.4.1. beschrieben, zu behandeln. Gute Ergebnisse werden bei normalem Straßenschmutz, Ruß und Kohlepartikeln erreicht. Größeres Material wie Eisenteilchen oder Steinchen sprechen auf eine Lasertherapie nicht an. Empfehlenswert ist aber eine Probebehandlung bevor mit einer großflächigen Lasertherapie begonnen wird. Besondere Vorsicht ist bei eingesprengtem Feuerwerksmaterial geboten. Es kann hier auch nach mehreren Monaten zu einer explosionsartigen Entzündung kommen, die zu einer erheblichen Narbenbildung und sogar zu einer Ausbreitung des Pigments führen kann. Grundsätzlich gilt die Devise: je früher die Behandlung beginnt, desto besser ist das Ergebnis.

Sollte eine Lasertherapie mit den Qs – Lasern nicht erfolgreich sein, kann im äußersten Falle auch an eine Ablation mit Er:YAG-Laser oder CO<sub>2</sub>-Laser gedacht werden. Als letzte Therapieoption ist ein Verfahren mit chirurgischen Stanzen zu nennen. [3]

## **6.5 Benigne Tumoren**

### **6.5.1 Xanthelasma**

Unter Xanthelasma versteht man die sub- oder intrakutane Einlagerung von Plasmalipoproteinen in der Haut. Xanthelasma kommen relativ häufig vor, meistens als Zeichen einer umschriebenen Fettstoffwechselstörung. In den meisten Fällen liegt keine Hyperlipidämie zugrunde. Sie imponieren als strohgelbliche bis

elfenbeinfarbene konfluierende weiche Pappeln oder Plaques. Häufig treten sie bilateral, symmetrisch im Bereich der Ober- und der Unterlider oder des inneren Augenwinkels auf. [9]

Lasertherapie:

Durch die Therapie mit einem KTP-Laser (mit 1,6 – 2,0 W; spot size 2 mm und Impulsdauer von 0,3 s) können nach mehrmaliger Behandlung sehr gute Ergebnisse erzielt werden. [3; 30] Durch die Lokalisation ist auf einen adäquaten Augenschutz besonders zu achten. Nach der Laserbehandlung kann es durchaus zu einer erheblichen Schwellung der Lider kommen.

Außerdem können auch der FPDL oder der fd – Nd:YAG – Laser bei dieser Indikation eingesetzt werden. [3]

### **6.5.2 Syringome**

Syringome sind benigne Tumoren der Schweißdrüsen, welche hauptsächlich an den Unterlidern auftreten. Syringome imponieren als hautfarbene bis gelblich – bräunliche Papeln. [9]

Lasertherapie:

Es kommen mehrere Laser zur Behandlung der Syringome in Frage. Bei mehrmaliger Behandlung mit einem KTP - Laser (2W; spot size 2 mm; Impulsdauer 0,3 s) ist eine ausreichende Koagulation der Läsion zu erwarten. Deutliche Befundverbesserung ohne nennenswerte Nebenwirkungen kann auch mit CO<sub>2</sub> – Laser oder dem Er:YAG-Laser erreicht werden. [3]

### **6.5.3 Neurofibrome**

Neurofibrome sind kleine, weiche, indolente, benigne Tumoren der Nervenscheiden. Sie imponieren als hautfarben bis bräunliche, exophytische Knötchen. Sie kommen multipel bei Mb. Recklinghausen (Neurofibromatose Typ 1) vor und sind dann mit Café-au-lait-Flecken, axillären fleckigen Pigmentierungen und Akustikusneurinomen assoziiert. [9]

Lasertherapie:

Die Entfernung kleiner Neurofibrome ist mit einem CO<sub>2</sub> – Laser mit hoher Leistung (ca. 20 W) möglich. Die Neurofibrome werden kreisförmig umschnitten und an der Basis abgetragen, es entsteht dadurch ein tiefer Defekt, welcher in den meisten

Fällen gut und komplikationslos, aber unter Narbenbildung abheilt. Bei einer Neurofibromatose können in Anästhesie in einer Sitzung über hundert Neurofibrome abgetragen werden. Eine Anwendung bei größeren Läsionen ist nicht denkbar, da eine gewisse Blutungsgefahr besteht und ausgedehnte Narben entstehen. [3] Insgesamt bietet die Laserbehandlung hier keine wesentlichen Vorteile gegenüber einer konventionell-chirurgischen Exzision.

#### **6.5.4 Rhinophym**

Rhinophyme treten im Rahmen der Rosacea auf und entstehen aufgrund einer Talgdrüsen- und Bindegewebshyperplasie und Gefäßerweiterung. Es kommt zu einer Vergrößerung der Nase mit asymmetrischer Knollenbildung. Rhinophyme können auch ohne Rosacea-Symptome auftreten.

In erster Linie werden ausgeprägte Rhinophyme chirurgisch behandelt. [9]

Lasertherapie:

Möglich, wenn auch nicht unbedingt erste Wahl, ist eine Abtragung mit CO<sub>2</sub>-Lasern oder Er:YAG-Laser. Da es sich aber um zeitaufwendige Methoden handelt, die der Abtragung mit dem Skalpell nicht überlegen sind, ist eine Lasertherapie nur in den seltensten Fällen indiziert. [3]

#### **6.5.5 Seborrhische Keratosen**

Seborrhische Keratosen sind hautfarbene oder hellbraune bis schwarz pigmentierte, breitbasige Akanthosen. Sie sind eine sehr häufige gutartige Altersdermatose. Die typischen Lokalisationen sind Stamm, Gesicht und Unterarme. Seborrhische Keratosen sind harmlos, machen keinerlei klinische Beschwerden und zeigen auch keine Entartungstendenz. [9]

Lasertherapie:

In erster Linie werden Seborrhische Keratosen mit einem scharfen Löffel behandelt und die Lasertherapie kommt kaum zum Einsatz. Möglich ist aber eine Entfernung von kleinen Keratosen im Gesicht, Halsbereich und Dekolleté mit einem KTP-Laser. Bei Lokalisationen (z.B. Naseneingang), wo eine Behandlung mit einem scharfen Löffel schwieriger ist, können die Läsionen auch mit einem CO<sub>2</sub>-Laser oder Er:YAG-Laser abgetragen werden. [3]

## **6.6 Maligne Tumoren**

Vorangestellt werden muss, dass die Lasertherapie bei malignen Tumoren im dermatologischen Bereich keine Standardtherapie ist und nur in Einzelfällen unter besonderen Voraussetzungen in Betracht gezogen werden soll. Da die Möglichkeit einer histologischen Abklärung nach einer Lasertherapie nicht gegeben ist, wird diese Art der Therapie höchstens bei palliativen Indikationen, Inoperabilität oder aufgrund der Lokalisation oder des Krankheitsstadiums angeboten.

### **6.6.1 Basalzellkarzinom**

Definition: Das Basalzellkarziom oder auch Basaliom genannt, ist ein invasiv und destruierend wachsender Tumor, der seinen Ursprung in den basalen Zellschichten der Epidermis hat. Basaliome metastasieren sehr selten.

Epidemiologie: Es handelt sich beim Basaliom um den häufigsten malignen Tumor der Haut.

Ätiologie: Es spielen sowohl eine genetische Disposition als auch auslösende als Noxe eine chronische UV-Exposition eine wichtige Rolle bei der Entstehung eines Basalzellkarzinoms.

Lokalisation: Die bevorzugte Lokalisation des Basalzellkarzinoms findet sich im zentrofazialen Bereich. Initial stellt sich das Basaliom als hautfarbenedes Knötchen mit Teleangiektasien und perlschnurartigem Randsaum dar. Später kann es zentral exulzerieren und destruierend wachsen.

Einteilung: Aufgrund der Morphologie werden folgende Unterformen unterschieden:

- Solides Basaliom (knotig)
- Zikatrissierendes Basaliom (zentral atroph)
- Sklerodermiformes Basaliom (hautfarbene Induration)
- Exulzerierendes Basaliom (Ulcus rodens)
- Destruierendes Basaliom (Ulcus terebrans)

Diagnostik: Das klinische Bild lässt die Verdachtsdiagnose Basaliom zu, eine sichere Diagnose ist mittels histologischer Abklärung zu stellen.

Therapie: Die Therapie der 1. Wahl stellt die chirurgische Exzision mit Schnittrandkontrolle dar (3-D-Histologie). [9]

Lasertherapie:

Mit dem Nd:YAG-Laser (40W, spot size 2mm, Impulsdauer: 3 s) können dünne Tumore koaguliert werden. Nach dieser Behandlung kann es zu häufiger zu Blasenbildung und Exsudationen kommen. Nach etwa einer Woche findet eine hämorrhagische Nekrose statt. Die Abheilung des Defektes benötigt mehrere Wochen und es bleiben atrophe oder hypertrophe Narben zurück.

Es besteht außerdem die Möglichkeit ein Basalzellkarzinom mit einem CO<sub>2</sub>-Laser abzutragen. [3]

### **6.6.2 Mb. Bowen**

Definition: Der nach dem Dermatologen Bowen benannte Tumor ist ein intraepidermales Plattenepithelkarzinom, sog. Carcinoma in situ.

Epidemiologie: Mb. Bowen kommt vor allem bei Männern über dem 40.

Lebensjahr vor, ist aber nicht so häufig wie beispielweise die aktinische Keratose (siehe Kap. 6.6.3).

Klinik: Das morphologische Bild einer bowenoiden Präkanzerose ist eine flache, scharf begrenzte, keratotische Läsion, welche oftmals bizarre Formen annimmt.

Hauptlokalisationen sind Gesicht, Rumpf, Hände und Unterschenkel.

Diagnostik: Histologische Abklärung

Therapie: Die chirurgische Exzision ist Therapie der Wahl. Es sind alternativ auch eine Photodynamische Therapie, 5 – Flurouracil – hältige Externa oder eine Lasertherapie möglich [9] neuerdings auch immunomodulatorische Lokalthherapie mit Imiqimod (Aldara Creme®) Zitat Kopera 2010

Lasertherapie:

Eine Ablation mit einem CO<sub>2</sub>-Laser oder auch einem Er:YAG-Laser kann durchgeführt werden. Die Lasertherapie kommt vor allem bei akraler oder genitaler Lokalisation des Mb. Bowen zum Einsatz. [3]

### **6.6.3 Aktinische Keratose**

Definition: Die aktinische Keratose ist eine durch UV-Licht induzierte

Präkanzerose (streng genommen ein frühes Stadium eines

Plattenepithelkarzinoms), die vor allem an lichtexponierten Hautarealen vorkommt und in ein Spinaliom (Plattenepithelkarzinom) übergehen kann.

Epidemiologie: Aktinische Keratosen sind sehr häufig, vor allem bei Männern über 50. In den meisten Fällen ist eine starke UV-Exposition über Jahrzehnte vorausgegangen.

Klinik: Es entwickeln sich zunächst multiple erythematöse Läsionen, welche sich später in gelb-bräunlich, keratotische Herde umwandeln. Hauptlokalisationen sind Gesicht, Stirn, Glatze, Schläfe, Hals, Handrücken und Unterarme.

Diagnostik: Histologische Abklärung. [9]

Therapie: Die modernste und wenigst invasive Behandlungsmethode ist die topische Therapie mit Imiquimod. Auch die photodynamische Therapie stellt eine gute Therapieoption dar. Möglich ist auch eine chirurgische Entfernung, Lasertherapie oder eine lokale Therapie mit 5-Fluorouracil.

Lasertherapie: Die Lasertherapie der aktinischen Keratose gestaltet sich in der selben Weise wie die Lasertherapie eines Basalioms. Im Vergleich zu einer Photodynamischen Therapie ist aber bei der Lasertherapie mit einer verzögerten Wundheilung zu rechnen. Außerdem sind atrophe Narben keine Seltenheit. [3]

#### **6.6.4 Leukoplakie**

Definition: Eine Leukoplakie ist eine dysplastische, teils keratotische Veränderung, welche an Schleimhäuten und Übergangsepithelien vorkommt.

Klinik: Es handelt sich um schmerzlose, scharf begrenzte, plane, weißliche Läsionen der Schleimhaut oder Halbschleimhaut (z.B. Lippen), welche nicht wegwischtbar sind. Sie werden durch chronische physikalische oder chemische Reize (an den Lippen v.a. durch UV-Licht) hervorgerufen.

Diagnostik: Histologische Abklärung.

Therapie: Bei persistierenden und verrucösen Leukoplakien ist eine Exzision angezeigt. Plane Herde sollten einer Verlaufskontrolle unterzogen werden.[9]

Lasertherapie:

Es kann eine Ablation mit einem CO<sub>2</sub>-Laser durchgeführt werden. Vorteilhaft hierbei ist, dass bei der Behandlung mit dem Laser ein geringes Blutungsrisiko besteht. Die behandelten Areale heilen meist innerhalb von 2 Wochen gut ab. Eine Nachsorge ist jedoch in allen Fällen unumgänglich, da Leukoplakien eine hohe Rezidivrate aufweisen. [3]

### **6.6.5 Kaposi-Sarkom**

Definition: Es handelt sich um eine vaskuläre Neoplasie, welche in vier wichtige Unterformen eingeteilt werden kann:

- Klassisches (idiopathisches) Kaposi – Sarkom
- Disseminiertes Kaposi – Sarkom bei AIDS – PatientenInnen
- Endemisches Kaposi – Sarkom (in Afrika)
- Kaposi – Sarkom bei immunsupprimierten PatientenInnen

Ein Kaposi – Sarkom betrifft initial die Haut, kann aber im fortgeschrittenen Stadium auch die inneren Organe betreffen. [9;3]

Lasertherapie:

Kleine, initiale Läsionen können mit einem KTP-Laser ( 3- 4 W, spot size 2mm, Impulsdauer 0,5 s) behandelt werden. In Einzelfällen kann bei dickeren, knotigeren Läsionen an eine Behandlung mit einem Nd:YAG-Laser gedacht werden. Es handelt sich bei der Lasertherapie aber prinzipiell um eine palliative Maßnahme. [3]

## **6.7 Entzündliche Dermatosen**

### **6.7.1 Vitiligo**

Vitiligo ist eine autoimmuninduzierte entzündliche Erkrankung mit fokaler oder disseminierter Depigmentierung der Haut. Die Ursachen sind umstritten, angenommen werden eine autoimmune, metabolische und neurogene Pathogenese. Die Hypo – bzw. Depigmentierungen können als lokalisierte Einzelherde oder generalisiert einerseits disseminiert über die gesamte Haut oder andererseits akrofacial, vor allem periokulär und periorbital auftreten. [9]

Lasertherapie:

Bei einer stabilen Vitiligo kann als Therapie eine Transplantation von autologen, kultivierten Melanozyten und Keratinozyten durchgeführt werden. Es ist eine Deepithelisierung der Haut erforderlich, welche sich gut mit einem Er:YAG – Laser durchführen lässt. [3]

## 6.8 Infektiöse Dermatosen

### 6.8.1 Mollusca contagiosa

Definition: Es handelt sich um eine vor allem bei Kindern, Jugendlichen und immunsupprimierten

PatientenInnen auftretende, virale Erkrankung der Haut.

Gekennzeichnet sind Mollusca contagiosa durch derbe, hautfarbene, zentral gedellte Pappeln, in der Größe von 2 bis 5 mm. Erreger ist ein DNA-Virus aus der Pockengruppe.



Abb.6 Mollusca contagiosa

Die Inkubationszeit beträgt 2

bis 7 Wochen und die Übertragung erfolgt über kleine Epitheldefekte. Die Pappeln ragen halbkugelig über das Hautniveau hinaus und zeigen eine zentrale Delle.

Durch Druck lässt sich ein Molluscum-Körperchen evertieren, welches das Virusmaterial enthält. Bevorzugte Lokalisation der Läsion bei Kindern ist das Gesicht, der Rumpf und die Extremität, während bei Erwachsenen hauptsächlich die Genitalregion betroffen ist. Mollusca contagiosa ist selbstlimitierend, wobei jede Pappel 6 bis 8 Monate persistiert. Therapeutisch kann eine Abtragung mit einem scharfen Löffel durchgeführt werden. Außerdem stehen eine topische Anwendung von 5-Fluouracil, Tretinoin oder eine immunmodulierende Therapie mit Imiquimod als Therapieoptionen zur Verfügung. [9;23]

Lasertherapie:

Der FPDL mit den Parametern 7 bis 8 J, spot size 3 mm stellt eine effektive Therapiemöglichkeit der Mollusca contagiosa dar. Es kommt bereits nach einmaliger Behandlung zu einer narbenfreien Abheilung der Läsionen. Die Lasertherapie wird auch von Kindern sehr gut toleriert. Nebenwirkungen, abgesehen von reversiblen, transienten Hyperpigmentierungen, wurden bisher keine beschrieben. [3; 23; 32]

### 6.8.2 Vulgäre Warzen

Definition: Warzen werden von über 100 verschiedenen HPV-Typen verursacht und repräsentieren sich durch eine Hyperkeratose und Hyperplasie der Epidermis. Die Oberfläche ist rau und zerklüftet. Vulgäre Warzen kommen häufiger bei Kindern vor, sind jedoch in jedem Alter möglich. Prinzipiell sind Warzen selbstlimitierend, jedoch kann sich ihre Anwesenheit über einen unbestimmten Zeitraum ziehen. Außerdem können auch andere Körperstellen durch eine Übertragung des Erregers befallen werden. Vulgäre Warzen treten häufig an Handrücken, palmar und periungual sowie an den Fußsohlen auf. Bei Kinder und jungen Erwachsenen findet man sie als sog. Plane juvenile Warzen, aber auch als filiforme Warzen. Es stehen neben der Lasertherapie viele Therapieoptionen zur Verfügung: chirurgische Exzision oder Curettage, Vereisung, topische Anwendung von Tretionoin, 5-Fluorouracil, Salicylsäure oder auch die topische Applikation von immunmodulierenden Stoffen (Imiquimod). [9; 3; 23]

Lasertherapie:

Mit einem CO<sub>2</sub>-Laser können Warzen prinzipiell gut vaporisiert werden, wobei eine Leistung von 5 – 10 W notwendig ist. Die Basis einer Warze kann mit niedriger Leistung exakt behandelt werden, damit es zu keiner Narbenbildung kommt. Stark keratotische Warzen müssen vor einer Laserbehandlung mit keratolytischen Präparaten behandelt werden. Gutes Ansprechen auf eine Behandlung mit einem CO<sub>2</sub>-Laser zeigen auch peri- und subunguale Warzen.

Des Weiteren ist eine Lasertherapie auch mit einem Er:YAG-Laser möglich. Die Lasertherapie der Warzen sollte aber nicht Therapie der ersten Wahl sein, da es zu erheblichen Beschwerden nach der Behandlung kommen kann. Große Defekte können äußerst schmerzhaft sein und ihre Abheilung dauert einige Wochen. An der Fußsohle ergeben sich manchmal hypertrophe Narben, welche eine Druck- oder sogar Spontanschmerzhaftigkeit aufweisen können. Eine Heilungsrate von 50 bis 70% wird angenommen, jedoch kann es auch in 25% der Fälle zu Rezidiven kommen.

Die Lasertherapie von Warzen ist aber auch mit einem FPD-Laser möglich. [29] Die Zielstrukturen sind in diesem Fall die dilatierten Kapillarschlingen in einer Warze. Diese sollen durch den FPD-Laser koaguliert werden und so die Warze zum Absterben gebracht werden. Die Behandlung wird mit einer Energiedichte von 8J/cm<sup>2</sup> und spot size 7 mm überlappend durchgeführt. [29] Um ein gutes Ergebnis zu erzielen

sind aber immer mehrere Behandlungen notwendig. Die Heilungsrate liegt bei 60 bis 70% und ist daher vergleichbar mit der Heilungsrate der konservativen Therapie. [3]

### **6.8.3 Condyloma acuminata (Syn.: Feigwarzen, Feuchtwarzen)**

Definition: HPV-assoziierte Infektion der Schleimhautregionen mit spitzen Kondylomen oder planen Papillomen. Als Erreger gelten die HPV – Typen 6 und 8, 16 und 18, welche sexuell übertragen werden. Die Übertragung kann auch über Oralverkehr, vertikal oder autoinocular erfolgen. Die Hauptlokalisation der Condyloma acuminata ist die Genitalregion. Initial als kleine, weiche Pappeln konfluieren sie später beerenartig und wachsen exophytisch. Bei jahrelanger Persistenz spricht man von Condylomata gigantea oder dem „Buschke-Löwenstein-Tumor“. [9; 23]

Die Therapiemöglichkeiten der Feigwarzen sind Podophyllotoxin-hältige topische Mittel, immunmodulierende Imiquimod-Creme, Kryotherapie, 5-Fluoruracil, chirurgische Exzision oder Lasertherapie. [23]

Lasertherapie:

Der CO<sub>2</sub>-Laser kann zur Vaporisation der Feigwarzen herangezogen werden, wobei Leistungen zwischen 10 und 20 W und eine spot size von 2 – 3 mm verwendet werden. Wichtiger Punkt bei der Behandlung von Feigwarzen mit dem Laser ist, dass unbedingt auf die Abtragungstiefe geachtet werden muss, da es bei zu tiefer Abtragung zu schmerzhafter, prolongierter Abheilung und Narbenbildung, welche auch funktionelle Störungen nach sich ziehen kann, kommen kann. Da periläsionär auch Virus DNA vorhanden ist, empfiehlt sich eine Ablation von 5 bis 10 mm klinisch gesund erscheinender Haut. Für das behandelnde Personal ist in dieser Indikation auch besonders auf das Tragen eines Mundschutzes zu achten, da die virale DNA im Laserrauch nachgewiesen werden kann. [3; 23]

Komericki et al. zeigten die Wirksamkeit des FPDL in der Behandlung von Feigwarzen. Es konnten alle 22 Patienten/innen nach einer bis fünf Behandlungen in komplette Remission gebracht werden. [31]

## **6.9 Narben und Keloide**

### **6.9.1 Hypertrophe Narben**

Definition: Hypertrophe Narben sind überschießende Narben, welche über die Hautfläche erhaben und meist gerötet sind. Sie können sowohl starken Juckreiz als auch Spontanschmerz verursachen. Sie treten besonders nach Verbrennungen, Schürfwunden, Sekundärheilungen und Wunddehiszenzen auf. Hypertrophe Narben werden aber in der Regel nicht massiv exophytisch und bilden sich in den meisten Fällen innerhalb von Monaten bis Jahren wieder zurück. Für die Lasertherapie gilt daher, neue Narbenbildung in jeglicher Weise zu vermeiden und konservative Behandlungsoptionen zu bevorzugen.[3]

Lasertherapie:

Es gibt zwei Ansätze für die Lasertherapie in dieser Indikation. Erstens die Hypervaskularisation der hypertrophen Narbe zu koagulieren und zweitens mit einem ablativen Verfahren die Narbe abzutragen. [3]

1.) FPDL: Hypertrophe Narben sind in der Regel hypervaskularisiert und können mit dem FPDL behandelt werden. Die Behandlungsparameter sind 5 bis 7 J/cm<sup>2</sup> bei einer spot size von 5mm und einer Pulsdauer von 450 µs. Die bisherigen Studienergebnisse zeigen, dass eine Reduktion des Spontanschmerzes und eine Reduktion des Juckreizes durch diese Lasertherapie möglich ist. Die Hypertrophie jedoch wird in den meisten Fällen nur wenig beeinflusst. Nebenwirkungen sind bis auf eine reversible schwarzblau Färbung und gelegentlich Bläschen und Krusten nicht zu erwarten. [3]

2.) Er:YAG-Laser: Der Er:YAG-Laser, als ablativer Laser, setzt eine oberflächliche Wunde. Es ist dadurch theoretisch möglich, dass der Prozess der hypertrophen Narbenbildung erneut angestoßen werden kann. Es ist prinzipiell möglich mit dieser Art von Lasertherapie eine Abtragung der hypertrophen Narbe zu erzielen, jedoch sind nach der Behandlung Kompression und der Einsatz von Glukokortikoiden erforderlich. [3]

### **6.9.2 Keloide**

Definition: Keloide sind Narbentumoren mit einer Neubildung an kollagenen Fasern. Sie entstehen nach Verletzungen und können länger progredient bleiben. In der Entstehungsphase sind Keloide hyperämisch und zeigen oft Juckreiz und

Schmerzhaftigkeit. In der Rückbildung kann es zu Kontrakturen mit Einschränkung der Beweglichkeit oder Funktion der umliegenden anatomischen Strukturen kommen. Häufiges Auftreten bei jungen Erwachsenen vor allem an Brust und Rücken wird beobachtet. Insbesondere junge Frauen mit familiären Disposition zu Keloidbildung sind davon betroffen. Hier ist die häufigste Lokalisation im Prästernalbereich zu finden. Bei Männern ist die häufigste Ursache für Keloidentstehung eine Akne conglobata, wobei die richtige und konsequente Therapie dieser als wirksame Prophylaxe zur Verfügung steht. Die Therapie gestaltet sich schwierig, wobei aktive, hyperämische besser ansprechen als ältere, ruhige Keloide. Die Kryotherapie ist als effektivste Option zu nennen. Mehrere Sitzungen sowie vorherige Abtragung, Kompression und Unterspritzung mit Kortikosteroiden können aber dennoch notwendig werden um ein Keloid ausreichend zu behandeln. [9;3]

Lasertherapie:

Auch hier gelten wieder dieselben Ansätze wie bei der Therapie der hypertrophen Narben.

1.) FPDL: Bei frischen, hyperämischen Keloiden, kann an eine Koagulation mit einem FPDL gedacht werden. Einstellungsparameter sind wie bei den hypertrophen Narben zu wählen. Es kommt in manchen Fällen zu einer Reduktion der Symptome (Juckreiz und Schmerzen), jedoch kaum zu einer Größenabnahme. [3]

2.) CO<sub>2</sub>-Laser: Keloide können zur Verbesserung der Ausgangssituation für eine Kryotherapie mit einem CO<sub>2</sub>-Laser abgetragen werden. In Vollnarkose wird sowohl Laserbehandlung als auch erste Kryotherapie-Sitzung durchgeführt. [3]

## **6.10 Ästhetische Indikationen**

### **6.10.1 Skin Resurfacing**

Ablatives skin resurfacing ist eine neuere Behandlungsoption aktinisch geschädigter Haut mit ausgeprägter Elastose und feinen oberflächlichen Fältchen. Es handelt sich um eine oberflächliche Ablation der Haut, wobei Abtragungs- und Nekrosentiefe streng definiert werden. Zur Behandlung der Altershaut stehen auch andere Möglichkeiten zur Verfügung. Zu nennen sind chemische Peelingverfahren oder die Dermabrasion. Der Vorteil des Skin resurfacing mit einem ablativen Laser

ist, dass diese Behandlungsoption auch an kritischen Regionen (peroral, periorbital) eingesetzt werden kann.

Lasersysteme: Für das skin resurfacing werden gepulste und cw-CO<sub>2</sub>-Laser und gepulste Er:YAG-Laser verwendet. Alle Geräte haben eine Gewebeinteraktionszeit von unter einer Millisekunde, was zu einer explosionsartigen Vaporisation des Gewebes führt, ohne eine thermische Restnekrose zuzulassen.

Die Wirkung des skin resurfacing beruht auf drei Mechanismen:

- Planierungseffekt (mechanisch, bei Fältchen und Elastose)
- Thermisch induziertes Schrumpfen des Kollagens
- Remodellierung (Induktion der Kollagenproduktion, welche die Elastose in die Tiefe drängt)

Die thermische Kollagenschädigung – bis zu einem gewissen Maße – zeigt eine positive Auswirkung auf das Endergebnis sowie auch auf den Langzeiteffekt der Faltenbehandlung. Beispielsweise wären bei Fältchen periorbital, welche eine Tiefe von bis zu 300 µm erreichen können, bis zu acht Behandlungen mit einem CO<sub>2</sub>-Laser notwendig um ein ausreichend gutes Ergebnis zu erzielen. Da es aber nach drei Behandlungen bereits zu einer Hautglättung kommt, ist anzunehmen, dass auch der thermische Kollagenumbau eine entscheidende Rolle spielt.

Es ist beim Einsatz der Laser immer auf Abtragungs- und Nekrosentiefe zu achten. Bei dünner Haut werden besonders schnell hohe Abtragungstiefen erreicht, was zu Narbenbildung führen kann. Daher ist exaktes Vorgehen, Kenntnisse der Parameter des verwendeten Lasers und Beherrschung dieser Technik für einen Therapieerfolg unumgänglich.

Indikation für skin resurfacing: Prinzipiell kann diese Behandlungsoption für aktinisch geschädigte Haut jeglicher Ausprägung angewendet werden, wobei ein besonders gutes Ansprechen von feinen mimischen Fältchen vor allem periorbital und peroral beschrieben wird. Des weiteren spricht auch eine starke Elastose gut auf die Behandlung an. Ausgeprägte Falten nasolabial und im Glabellabereich sprechen weniger gut an, wobei durchaus Verbesserungen erreicht werden können. Außerdem stellen auch aktinische Schäden mit großflächigen oder multiplen Keratosen eine Indikation für diese Therapie dar.

Kontraindikationen: Zunächst muss vorangestellt werden, dass es sich hier meist um ästhetische Eingriffe handelt, daher sind PatientenInnen besonders ausführlich

aufzuklären. Patienten, welche zu hohe Erwartungen an diese Therapie stellen oder nicht in der Lage scheinen die Nachbehandlung suffizient durchzuführen, sollten von der Behandlung ausgeschlossen werden. Eine weitere wichtige Kontraindikation aufgrund dem vermehrten Auftreten von Komplikationen ist die systemische Anwendung von Isotretinoin in den letzten sechs Monaten.

PatientenInnen mit Goretex-Implantaten oder anderen Kunststoffimplantaten dürfen auch keinem skin resurfacing unterzogen werden, da es zu Verformungen des Implantates bis hin zum Schmelzen kommen kann. Die Nebenwirkungsrate ist erhöht bei PatientInnen mit Voreingriffen wie face lift oder chemical peel.

Behandlung: Die kosmetischen Einheiten des Gesichtes sollten immer vollständig behandelt werden, da es beim Behandeln einzelner Fältchen eher zu einer Akzentuierung dieser kommt. Zur weiteren Verbesserung des Überganges von behandelter zu nicht behandelter Haut wird auch ein Ausfedern in die Umgebung empfohlen. Nach der Behandlung der obersten Schicht werden die Rückstände der vaporisierten Haut mit einer in Kochsalz getränkten Kompresse abgewischt.. Dieser Vorgang wird nach weiteren Schichten wiederholt, bis die Ablationstiefe dermale Schichten erreicht hat. Die Periorbitalregion stellt eine kritische Zone dar, da es in diesem Bereich vermehrt zu Narbenbildungen oder auch zu einem Ekotropium kommen kann. Daher werden in diesem Areal deutlich reduzierte Pulsenergien bzw. Leistungen eingesetzt.

Anästhesie: Bei einer sehr oberflächlichen Behandlung (z.B. mit einem Er:YAG-Laser) können topische Anästhetika (z.B. EMLA-Creme) ausreichend sein. Leitungs- oder Infiltrationsanästhesie können als Betäubung eingesetzt werden, bei Behandlung des gesamten Gesichtes wird jedoch eine Allgemeinnarkose notwendig.

Vorbehandlung: Es wird empfohlen ein tretinoinhaltiges Präparat in Kombination mit einem Breitbandsonnenschutz und einer Hydrochinon - Salbe für die Dauer von 2-6 Wochen zu applizieren.

Nachbehandlung: Nach der Laserbehandlung kommt es zu Exsudativreaktionen, Schwellungen, brennenden Missempfindungen, Juckreiz, Ödembildung und Krustenbildungen. Bis zur vollständigen Reepithelisierung werden nun offene oder auch okklusive Verbände angelegt. Wichtig ist hier aber auch vor allem eine engmaschige postoperative Kontrolle, um Dermatitisen oder auch Wundinfektionen nicht zu übersehen.

Nebenwirkungen: Nach dem skin resurfacing kommt es immer zu Erythemen. In Abhängigkeit des verwendeten Lasers persistieren diese zwischen 14 und 20 Wochen (CO<sub>2</sub>-Laser). Bei der Verwendung eines Er:YAG-Lasers ist diese Zeit jedoch deutlich verkürzt. Außerdem möglich sind Juckreiz, irritative Dermatitis, Superinfektionen, transiente Hyperpigmentierungen, permanente Hypopigmentierungen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es sich beim skin resurfacing um eine anspruchsvolle Behandlung sowohl für den/die Behandler/in als auch den/die Patienten/in handelt. Vor – und Nachbehandlung stellen wichtige Faktoren für das Ergebnis der Therapie und die Dauer der obligat vorkommenden Nebenwirkungen dar. Skin resurfacing sollte daher nur von gut geschulten Ärzten und Ärztinnen durchgeführt werden.

### **6.10.2 Skin Rejuvenation**

Für aktinische Schäden der Haut, welche sowohl vaskuläre, pigmentierte und auch Texturveränderungen (Falten) einschließen, stehen zwei unterschiedliche Arten des nicht ablativen skin rejuvenation zu Verfügung: Photorejuvenation Typ I und II.

#### **a.) Photorejuvenation Typ I**

Es handelt sich hierbei um die Behandlung von aktinischen Schäden der Haut in Form von Teleangiektasien und Lentiginen. Teleangiektasien und Pigmentveränderungen können mit semiselektiven Lasern (Argon-, und Krypton-Laser) behandelt werden. Aufgrund der semiselektiven Gewebewirkung, kommt es aber bei diesen Behandlungen oft zu Nebenwirkungen in Form von atrophen Narbenbildungen. Es stehen aber auch eine Reihe selektiver Laser für die Behandlung zur Verfügung. So kann bei kleinen, einzeln stehenden Teleangiektasien ein FPDL verwendet werden. Des Weiteren besteht die Möglichkeit bei Pigmentveränderungen Q-switch-Laser (Qs-Ruby-, Qs-Nd:YAG-Laser, etc.) zu verwenden.

Die großflächige Behandlung aktinischer Schäden wird aber mit fd-Nd:YAG-Lasern, oder alternativ mit hochenergetischen Blitzlampen (IPL), durchgeführt. Der große Vorteil besteht darin, dass sowohl Pigmentveränderungen als auch vaskuläre Veränderungen gleichzeitig behandelt werden können.

## b.) Photorejuvenation Typ II

Ziel der Photorejuvenation Typ II ist es, die UV-induzierten Veränderungen von Kollagen und Elastin umzukehren und die Kollagenneubildung zu induzieren.

Für die Photorejuvenation Typ II stehen mehrere Geräte zur Verfügung: FPD, hochenergetische Blitzlampen (IPL) und gepulste fd-Nd:YAG-Laser. Bei diesen Geräten werden Wellenlängen im sichtbaren Bereich des Lichtes eingesetzt, welche nun als Zielstrukturen Hämoglobin, Melanin und Cytochrome haben. Je nach Größe und Tiefe der Zielstruktur werden die Laserparameter eingestellt. Bei der Behandlung von Texturveränderungen und Falten wird als Zielstruktur Hämoglobin angenommen. Es soll während der Laserbehandlung zu einem Austritt von Blutkomponenten mit nachfolgender Zytokininduktion kommen. Diese wiederum bewirkt eine Aktivierung von Fibroblasten und eine Neubildung von elastischen Fasern sowie von Kollagen.

Des Weiteren stehen Geräte, welche im Infrarotbereich arbeiten, zur Behandlung zur Verfügung. Hier zu nennen sind der Nd:YAG-Laser, Diodenlaser (980 nm, 810 nm, 1450 nm) und Er: Glass-Laser. Das Wirkungsprinzip beruht hierbei auf einer Erhitzung aller Hautschichten. Es kommt in der Dermis zu einer Proteindenaturierung, was wiederum zu einer Schrumpfung von Kollagen und Neubildung von Kollagen führen soll.

Die Nebenwirkungen der skin rejuvenation sind um einiges weniger schwerwiegend wie jene des skin resurfacing. Es können reversible Schwellungen und Ödeme auftreten. Außerdem sind Erytheme und auch Narbenbildungen und Hyperpigmentierungen möglich.

Ergebnisse: Die nicht ablativ Behandlung von aktinisch geschädigter Haut wird zur Zeit kontrovers diskutiert. Die erforderliche Eindringtiefe zur effektiven Kollagenschädigung ist derzeit noch unbekannt. Mit den zur Zeit zur Verfügung stehenden Geräten sind minimale Verbesserungen im Sinne eines skin tonings, möglich.

### **6.10.3 Laserepilation**

#### **6.10.3.1 Hypertrichose/Hirsutismus**

Unter Hypertrichose versteht man eine verstärkte Körperbehaarung, bei der sich kurze Vellushaare in dickere Terminalhaare umwandeln. Unterschieden werden können umschriebene und diffuse Hypertrichosen. Es können bei den

umschriebenen Hypertrichosen zwischen angeborenen, vor allem zu erwähnen die nävoide Hypertrichose und erworbenen Formen unterschieden werden. Die erworbene Form tritt vor allem nach mechanischen Belastungen der Haut, lang andauernden Entzündungen oder lokaler Anwendung von Steroiden auf. Zu den diffusen Hypertrichosen zählen die ethisch bedingte Hypertrichose (dunkelhaarige Frauen aus dem Mittelmeerraum) und die medikamentöse Hypertrichose (systemische Behandlung mit Minoxidil, Psoralen, Streptomycin). Außerdem kann auch eine genetische bedingte Störung (Hypertrichosis lanuginosa congenita), oder eine paraneoplastische Hypertrichose bei Karzinomen (Hypertrichosis lanuginosa acquisita) vorliegen. Wichtig ist die Abgrenzung der Hypertrichose vom Hirsutismus, bei dem ein männlicher Behaarungstypus bei Frauen auftritt. Hier ist abzuklären ob ein hormonelles Problem (PCO-Syndrom, Androgen produzierende Tumore im Ovar oder Nebenniere, Cushing- Syndrom) vorliegt. [9]

### **6.10.3.2 Haarentfernung**

Es stehen mehrere Möglichkeiten zur Entfernung unerwünschter Haare zur Verfügung. Dazu gehören die mechanische Epilation (Rasieren), Zupfen, Wachsen, chemische Depilation, etc. Als derzeit einzige permanente Haarentfernung gilt die Elektrothermolyse mit hochfrequentem Wechselstrom.

### **6.10.3.3 Prinzip der Laserepilation**

Es handelt sich hierbei um die sogenannte selektive Phototricholyse, der die Wechselwirkung von Licht mit dem Haarfollikel zugrunde liegt. Das Laserlicht und die Parameter werden so gewählt, dass es zu einer Absorption in den intrafollikulären Chromophoren kommt. Voraussetzung ist eine ausreichende Pigmentierung des Haarfollikels. Außerdem ist zu bedenken, dass Haarfollikel in den Phasen des Haarzyklus verschieden tief in der Haut liegen und eine unterschiedliche Größe aufweisen können. Bei der Laserepilation werden grundsätzlich größere Fleckdurchmesser verwendet, weil dadurch Streueffekte und Energieverluste in der Dermis vermindert werden. Die verwendeten Wellenlängen liegen im Bereich zwischen 700 nm und 1000 nm. Licht dieser Wellenlänge dringt tief genug in die Dermis ein und wird auch ausreichend von Melanin absorbiert. Als Zielchromophor der Laserepilation dient das im schwarzen und braunen Haar vorhandene Eumelanin. Rotes und blondes Haar weist

Pheomelanin auf, welches ein anderes Absorptionsmaximum hat und daher kaum bis gar nicht auf eine Laserepilation anspricht. Auch weißes und hellgraues Haar spricht, aufgrund des Fehlens des Pigmentes nicht auf eine Lasertherapie an.

Geeignete Impulsdauern richten sich nach der Relaxationszeit der Epidermis und des Haarfollikels. Prinzipiell führt eine höhere Energiedichte zu einer erfolgreicherem Epilation, aber gleichzeitig auch zu einer erhöhten Rate an Nebenwirkungen. [3]

Lask et al. gibt als Richtlinie zur erfolgreichen Epilation folgende Einstellungen an: spot size 4 bis 5 mm, Impulsdauer im Millisekundenbereich, Energiedichte 20 bis 50 J/cm<sup>2</sup>. [24]

#### **6.10.3.4 Ausgewählte Geräte zur Laserepilation**

→ Rubinlaser (gepulst, 694 nm)

Der Rubinlaser wird mit einer Impulsdauer von 5 ms verwendet und absorbiert im Melanin des Haarfollikels und auch der Epidermis. Daher ist ein Kühlungssystem für die Epidermis erforderlich. Der Rubinlaser weist eine etwas erhöhte Nebenwirkungsrate auf und eine epidermale Schädigung kann nicht immer umgangen werden, daher ist dieser Laser nicht Gerät der ersten Wahl. Nebenwirkungen sind vor allem transiente Erytheme, Hyper- als auch Hypopigmentierungen. Nicht auszuschließen sind auch Blasen und Krustenbildungen. Mit dem Rubinlaser kann eine Reduktion des Haarwuchses im Bereich zwischen 50 – 70 % erreicht werden. Allerdings werden Rubinlasergeräte wegen der verfügbaren kleinen Strahldurchmesser von 4mm in der Routine kaum für diese Indikation eingesetzt.

→ Gepulster Nd:YAG – Laser (1064 nm)

Durch die hohe Wellenlänge kommt es bei der Behandlung mit dem Nd:YAG – Laser zu einer hohen Eindringtiefe (5 – 7 mm). Es werden dadurch auch tieferliegende Haarfollikel erfasst. Vorteil des Nd:YAG – Lasers ist auch, dass es in der Epidermis nur zu einer äußerst geringen Absorption kommt. Daher kann dieser Laser auch bei dunkleren Hauttypen zur effektiven und nebenwirkungsarmen Epilation verwendet werden. Ein Kühlsystem ist aber in jedem Fall unbedingt erforderlich. Die Ergebnisse der Haarreduktion können von 20 – 50 % stark variieren, wobei wiederholte Behandlungen zu einer Erhöhung

dieses Wertes führen können. Bezüglich der Strahldurchmesser verhält sich der NdYAG-Laser gleich wie der Rubinlaser.

→ Alexandritlaser (755nm), Diodenlaser (800nm, 810nm), div. IPL-Geräte

Die lichtassistierte Haarentfernung mit diesen Geräten hat sich als probat und zufriedenstellend erwiesen. Lichtimpulse von 30ms bis 100ms werden bei Energiedichte von 25 bis 50 J/cm<sup>2</sup> und Strahldurchmesser von 9mm bis zu einem Bestrahlungsareal von mehreren Quadratzentimetern appliziert und führen nach mehreren Behandlungen im Abstand von 4 bis 8 Wochen je nach Körperregion zu einer zufriedenstellenden Haarreduktion.

### **6.10.3.5 Behandlung**

Vor der Laserepilation muss eine ausführliche Anamnese erhoben werden. Vor allem ist auf eine etwaige Medikamenteneinnahme (lichtsensibilisierende Medikamente) zu achten. Die Anamnese sollte auch eine Neigung zu Narbenbildung oder Pigmentveränderungen beinhalten. Besonders zu achten ist des weiteren auch auf eine ausführliche Aufklärung bezüglich etwaiger Nebenwirkungen wie Erytheme oder Pigmentverschiebungen. Vorbereitend für die Laserepilation ist eine Sonnenkarenz notwendig. Es sollten auch keine Solariumbesuche erfolgen und die Haare nicht mehr epiliert oder gezupft werden. Während der Behandlung kann eine lokalanästhetische Creme ( z.B. EMLA) verwendet werden. Hier ist aber auf die Applikationsfläche und Resorptionsfläche zu achten, insbesondere wenn Mikrotraumen vorhanden sind.

## **7 Testreihe zur Lasersicherheit**

(AUSWIRKUNGEN VON HOCHENERGETISCHEM LASERLICHT AUF NICHTBIOLOGISCHE MATERIALIEN IM UMFELD DES DERMATOLOGISCHEN BEHANDLUNGSAREALS)

### **7.1 Einleitung**

Für die Testreihe wurden die fünf hochenergetischen Laser, welche in Kap. 4 eingehend beschrieben wurden, verwendet. Es handelt sich dabei um Laser der Sicherheitsklasse 4 was bedeutet, dass kurzzeitige Exposition bereits Schäden an den Augen verursachen kann. Außerdem sind, wenn der Laserstrahl auf nicht zur Behandlung vorgesehenen Arealen auf Gewebe oder Materialien auftrifft, unerwünschte Schäden möglich, in der Dermatologie vornehmlich an der Haut, wenn der Laserstrahl auf Strukturen rund um das Behandlungsfeld bzw. im Behandlungsraum auftrifft, ist auch eine potentielle Entflammbarkeit gegeben. [25] Daraus folgend wurde versucht die Entflammbarkeit an verschiedenen nicht biologischen Materialien zu testen. In der Versuchsreihe kamen 26 verschiedene Werkstoffe unter Laserbeschuss. Es handelt sich vor allem um Stoffe welche während einer Laserbehandlung in unmittelbarer Umgebung des Behandlungsareals vorkommen können. Respektive sind dies einerseits Materialien, welche von dem/der Patienten/in ins Behandlungsareal eingebracht werden (Kleidungsstücke), andererseits Materialien, welche Teil des Behandlungsareals sind, oder von dem/der Behandler/in eingebracht werden (Berufsbekleidung). Es wurden sowohl unterschiedliche Textilien (Baumwolle, Elasthan, Jeansstoff) als auch unterschiedliche Farben (Weiß, Schwarz, Rot) verwendet. Die für die Versuchsreihe zur Anwendung kommenden Laserparameter entsprachen den tatsächlich bei verschiedenen Dermatologischen Indikationen verwendeten Energiedichten, Fleckdurchmesser und Impulsdauern.

### **7.2 Testanordnung**

- Laser 01 (L01): fd-Nd:YAG – Laser (KTP – Laser) (532 nm)  
Einstellung 1: 18J/cm<sup>2</sup> , spot size 1mm, Impulsdauer 40ms  
dermatologische Indikation: feine Teleangiektasien

Einstellung 2: 24J/cm<sup>2</sup>, spot size 1mm, Impulsdauer 40ms  
dermatologische Indikationen: größere Teleangiektasien, Xanthelasmen,  
Angiome

- Laser 02 (L02): FPDL (595 nm)  
Einstellung 1: 10J/cm<sup>2</sup>; spot size 7mm, Impulsdauer 45 ms  
dermatologische Indikation: Nävi flammei  
Einstellung 2: 12J/cm<sup>2</sup>; spot size 7mm, Impulsdauer 1,5 ms  
dermatologische Indikation: Verrucae vulgares
- Laser 03 (L03): q-switched-Rubinlaser (694 nm)  
Einstellung 1: 4J/cm<sup>2</sup>; spot size 4mm, Impulsdauer 40ns  
dermatologische Indikationen: Entfernung von Schmucktätowierungen,  
Altersflecken
- Laser 04 (L04): Nd:YAG-Laser (1064 nm)  
Einstellung 1: 200J/cm<sup>2</sup>; spot size 1,5 mm, Impulsdauer 30 ms  
dermatologische Indikation: feine Besenreiser  
Einstellung 2: 25J/cm<sup>2</sup>; spot size 5 mm, Impulsdauer 15 ms  
dermatologische Indikationen: größere Besenreiser, Fibrome
- Laser 05 (L05): Er:YAG-Laser (2940 nm)  
Einstellung 1: 4J/cm<sup>2</sup>; spot size 5mm, Impulsdauer 0,35 ms  
dermatologische Indikationen: Skin Resurfacing; Abtragung aktinischer  
Keratosen; Aknenarben  
Einstellung 2: 8J/cm<sup>2</sup>; spot size: 5mm, Impulsdauer 0,35 ms  
dermatologische Indikationen: Skin Resurfacing; Abtragung aktinischer  
Keratosen; Aknenarben

Es wurden bei allen Einstellungen jeder der 26 Stoffe aus verschiedenen Abständen beschossen. Zunächst mit dem Indikationsabstand (A01), dann aus 5, 10 und 20 cm Entfernung (A02; A03; A04= A01+x cm). Damit wurde eine versehentliche Impulsauslösung auch aus der Ferne simuliert. Es wurden jeweils drei unmittelbar aufeinanderfolgende Laserimpulse auf eine Stelle des jeweiligen Werkstoff abgefeuert.

### **7.3 Durchführung der Testreihe**

Die Durchführung der Testreihe erfolgte in zwei Durchgängen. Die interessantesten Reaktionen wurden fotografiert. Einige Abbildungen finden sich im Kapitel Photodokumentation. Nach Abschluss der Testreihe wurden Tabellen erstellt, welche einheitlich alle möglichen Reaktionen aufzeigen. Ist eine Reaktion vorhanden z.B. schwarz-Verfärbung des Werkstoffes, so wurde dies durch die Kodierung 1 beziffert. Zeigte sich nur eine sehr geringe Reaktion oder war die Reaktion sehr stark ausgeprägt, wurde dies mit 1- bzw. 1+ dargestellt. Kam es zu keiner Reaktion, wurde dies mit 0 ausgedrückt.

### **7.4 Ergebnisse**

#### **7.4.1 Frequenzverdoppelter Nd:YAG – Laser (KTP – Laser)**

- Einstellung 1: 18 J/cm<sup>2</sup> , spot size 1mm, Impulsdauer 40ms

Bei dieser Einstellung zeigten sich vor allem Rauchentwicklung mit Brandgeruch und Schwarzfärbungen der Lederstoffe im Indikationsabstand (A01). Es traten beim Beschuss auch Löcher in den schwarzen Textilien auf, sowie bei dem roten Baumwollgemisch und dem Jeansstoff. Löcher konnten auch im grünen Papier und in den Strumpfhosen im A01 beobachtet werden. Es gab keine nennenswerten Reaktionen im Abstand 03 und 04.

- Einstellung 2: 24 J/cm<sup>2</sup>, spot size 1mm, Impulsdauer 40ms

Mit 24 J/cm<sup>2</sup> konnten wiederum Rauchentwicklungen, Brandgeruch und Schmelzeffekte der Lederstoffe erreicht werden. Es zeigten sich bei den Ledermaterialien graue Farbumschläge im A02. Im Indikationsabstand zeigten sich des weiteren Löcher in schwarzen textilen Stoffen und im roten Stoff, sowie bei den Strumpfhosen und im Holz. Wiederum gab es keine relevanten Reaktionen aus größerer Entfernung (A03, A04).

#### **7.4.2 Blitzlampengepumpter Farbstofflaser**

- Einstellung 1: 10 J/cm<sup>2</sup>; spot size 7 mm; pulse duration: 45 ms

Lederstoffe und schwarze Stoffe reagieren auf den Beschuss mit dieser Einstellung mit Rauchentwicklung, Brandgeruch und Farbumschlägen in schwarz und braun. Es kam beim Beschuss der Lederstoffe im Indikationsabstand auch zu

einer Geräuscentwicklung, welche mit einem lauten Knall vergleichbar wäre. Bei der schwarzen Strumpfhose entstand im A01 und A02 ein Loch.

- Einstellung 2: 12 J/cm<sup>2</sup>; spot size 7 mm, pulse duration: 1,5 ms

Hier konnten ähnliche Reaktionen wie mit der ersten Einstellung beobachtet werden. Rauchentwicklung und eine Graufärbung bei den schwarzen Textilien konnten bis A03 beobachtet werden. Die Geräuscentwicklung war mit dieser Einstellung noch stärker und zog sich bei einigen Lederstoffen und schwarzen Materialien sogar bis in den Abstand A04.

### **7.4.3 Rubinlaser**

- Einstellung 1: 4 J/cm<sup>2</sup>, spot size 4mm, Impulsdauer 40ns

Mit dem Rubinlaser zeigten sich Farbumschläge vor allem in Richtung grau bei Lederstoffen und schwarzen Stoffen bis zum Abstand A04. Es konnte auch eine Graufärbung des Jeansstoffes und des weißen Mantels beobachtet werden. Schmelzeffekte konnten beim schwarz lackierten Bleistift in allen Abständen erzeugt werden. Außerdem kam es beim Bleistift in allen Abständen auch zu einer starken Geräuscentwicklung. Diese trat auch bei den Lederstoffen und schwarzen Stoffen bis A02 bzw. A03 auf.

### **7.4.4 Neodym:YAG – Laser**

- Einstellung 1: 200 J/cm<sup>2</sup>, spot size 1,5 mm; pulse duration 30 ms

Bei dieser Einstellung konnten Rauchentwicklung, Brandgeruch und Schwarz – bzw. Braunfärbungen der Lederstoffe im Indikationsabstand beobachtet werden. Löcher ergaben sich bei zwei schwarzen Stoffen und dem Jeansstoff im Indikationsabstand. Es kam beim schwarzen Bleistift zum Verbrennen des Lackes mit Lackgeruch im Abstand A01 und A02.

- Einstellung 2: 25 J/cm<sup>2</sup>; spot size 5mm; pulse duration 15 ms

Vor allem im Indikationsabstand konnten Rauchentwicklung, Brandgeruch und schwarze Farbumschläge bei den Lederstoffen beobachtet werden. Bei den schwarzen Stoffen und dem grünen Verpackungspapier eines Tupfers wurden beim Beschuss im Abstand A01 Löcher erzeugt. Beim grünen Verpackungspapier und dem schwarz lackierten Bleistift entstand bei Beschuss im Indikationsabstand

eine Flamme. Das Papier verbrannte vollständig, während der Lack nur kurz aufflammte.

#### 7.4.5 Erbium:YAG – Laser

- Einstellung 1: 4J/cm<sup>2</sup>; spot size: 5 mm, pulse duration 0,35 ms

Beim Beschuss mit der ersten Einstellung entstanden Löcher in schwarzer Baumwolle, in schwarzem Synthetikstoff, im roten Baumwollgemisch und den Strumpfhosen im Indikationsabstand. Außerdem bildeten sich auch Löcher im weißen und grünen Papier und einem Tupper. Es kam auch zu einer Rauchentwicklung mit Brandgeruch bei zwei Lederstoffen auf der rauen Seite und schwarzer und weißer Baumwolle. Auf der glatten Seite der Lederstoffe kam es zum Schrumpfen des Materials. Es konnten auch viele braune oder graue Farbumschläge auch bei weißen Materialien beobachtet werden. Auch das OP – Hemd zeigte eine Braunfärbung.

- Einstellung 2: 8 J/cm<sup>2</sup>, spot size 5mm, pulse duration 0,35 ms

In dieser ablativen Einstellung zeigten sich die beeindruckendsten Reaktionen. Es kam zu einer Lochbildung bei schwarzen Stoffen, dem roten Stoff, des weißen Mantels und bei weißem Papier. Des Weiteren konnten Löcher auch in der Plastikhülle, der Verpackung eines Gaze-Tupfers und im Tupper selbst erzeugt werden. Auch beim schwarzen Bleistift und der türkisgrünen OP-Saal-Wäsche (Baumwolle) kam es im Indikationsabstand zur Bildung von Löchern. Generell gab es bei dieser Einstellung bei sehr vielen Materialien Rauchentwicklung mit entsprechendem Brandgeruch, sogar im Abstand A04. Außerdem kam es vor allem bei A02 bis A04 zu einigen Braun- bzw. Graufärbungen.

Geräuschentwicklungen konnten auch verzeichnet werden. Mit dieser Einstellung kam es auch zu einer oberflächlichen Ablation der Ledermaterialien bis maximal zum Abstand A03. Eine Ablation des Lacks am schwarzen Bleistiftes konnte sogar bis zum Abstand A04 nachgewiesen werden.

Mit dieser Einstellung des Er:YAG-Lasers kam es auch zu Flammenentwicklung bei schwarzer Baumwolle im Abstand A02. Auch die weiße Baumwolle wurde im Abstand A02 zur Entflammung gebracht. Dabei wurde der zu beschießende Bereich des Stoffes mit Bleistift „beschmutzt“. Es kam dann auch zu einer Flammenentwicklung im A02. Auch die Tupperverpackung (weißes und grünes

Papier) entflammte bei Abstand A03. In den anderen Abständen kam es lediglich zu einer Lochbildung durch Vaporisierung (Verdampfung) des Materials.

#### 7.4.6 Photodokumentation



Abb. 7: Photo Zielstruktur Nr. 02, schwarzes Baumwoll-Gewebe

Das Photo zeigt die Reaktionen des schwarz strukturierten Baumwollstoffes (Nr.: 07 laut Testreihe Protokoll) auf den Beschuss mit dem Erbium:YAG-Laser bei der Einstellung 2:  $8 \text{ J/cm}^2$ , spot size 5mm. Zu sehen ist das entstandene Loch im Abstand A01, sowie die Braun – bzw. Graufärbung in den Abständen A02 bis A03.

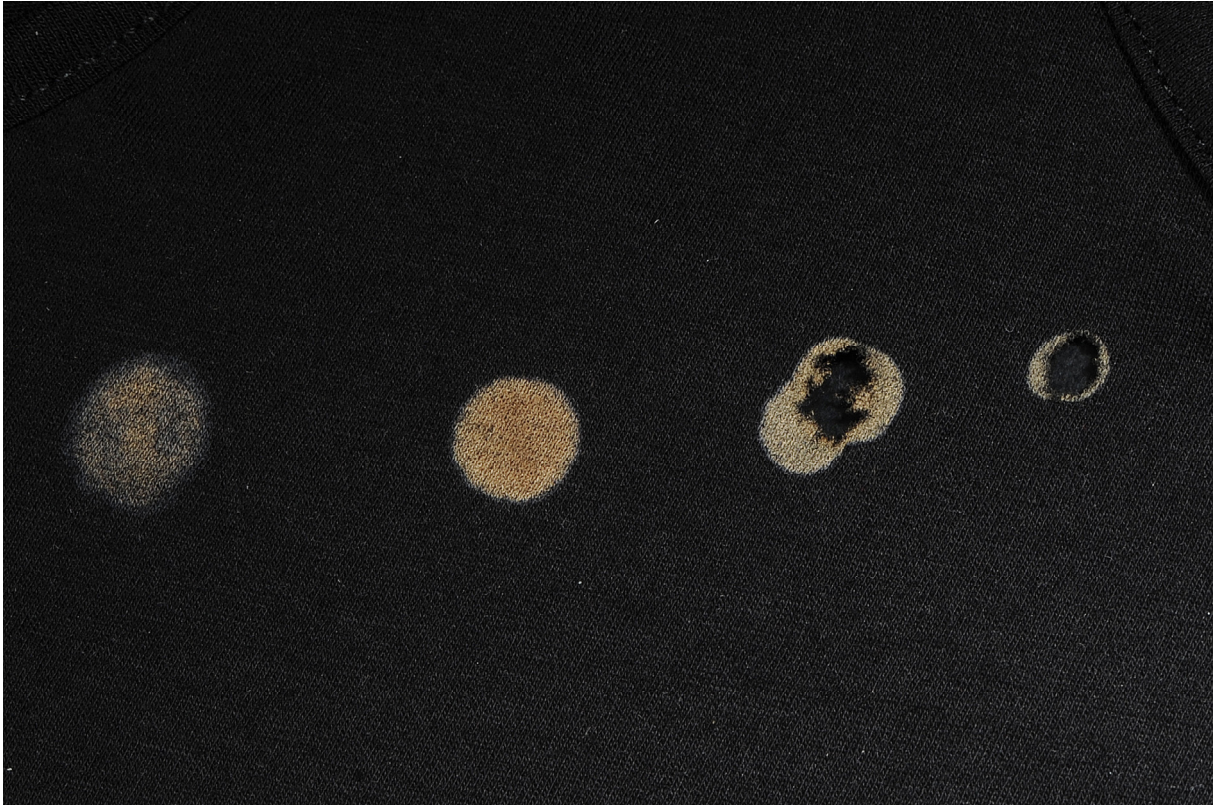


Abb. 8: Photo Zielstruktur Nr. 06 mercerisierte Baumwolle schwarz

Hier zeigen sich Löcher im Abstand A01 und A02, sowie die Verfärbungen in allen Abständen. Diese Reaktionen werden auch vom Erbium:YAG-Laser in der Einstellung 2 beim schwarzen glatten Baumwollstoff (Nr. 06) hervorgerufen. Auf diesem Photo (vor allem ganz rechts) besonders gut zu erkennen ist das Phänomen, dass es trotz Fokussierung zu einer Begleitstrahlung und Applikation von abgeschwächter Energie rund um den spot kommt.

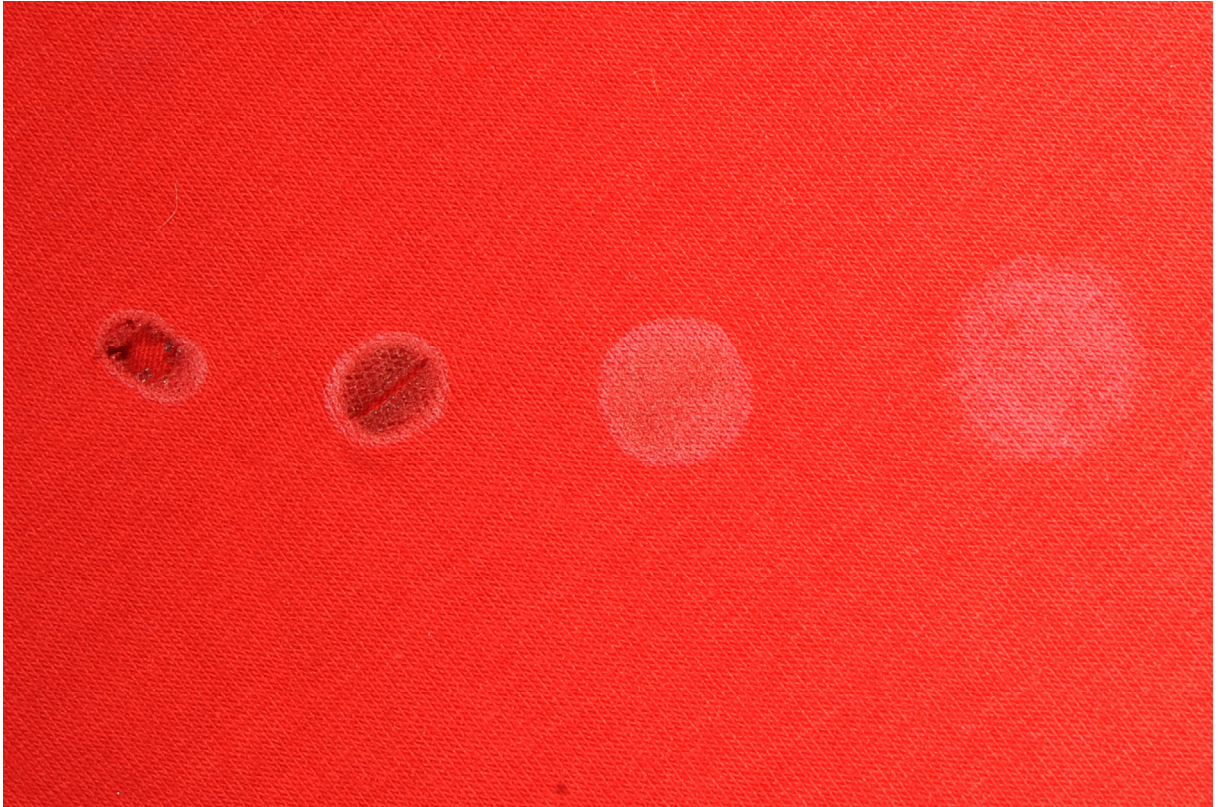


Abb. 9: Photo Zielstruktur Nr. 12 rotes Baumwollmischgewebe

Dieses Photo zeigt den roten Baumwollstoff (Nr. 12), auch hier wieder Erbium:YAG-Laser in der Einstellung 2, mit den Reaktion auf den Laserbeschuss. Es bildeten sich Löcher in A01 und A02, sowie Farbumschläge (Grau) in den Abständen A03 und A04.

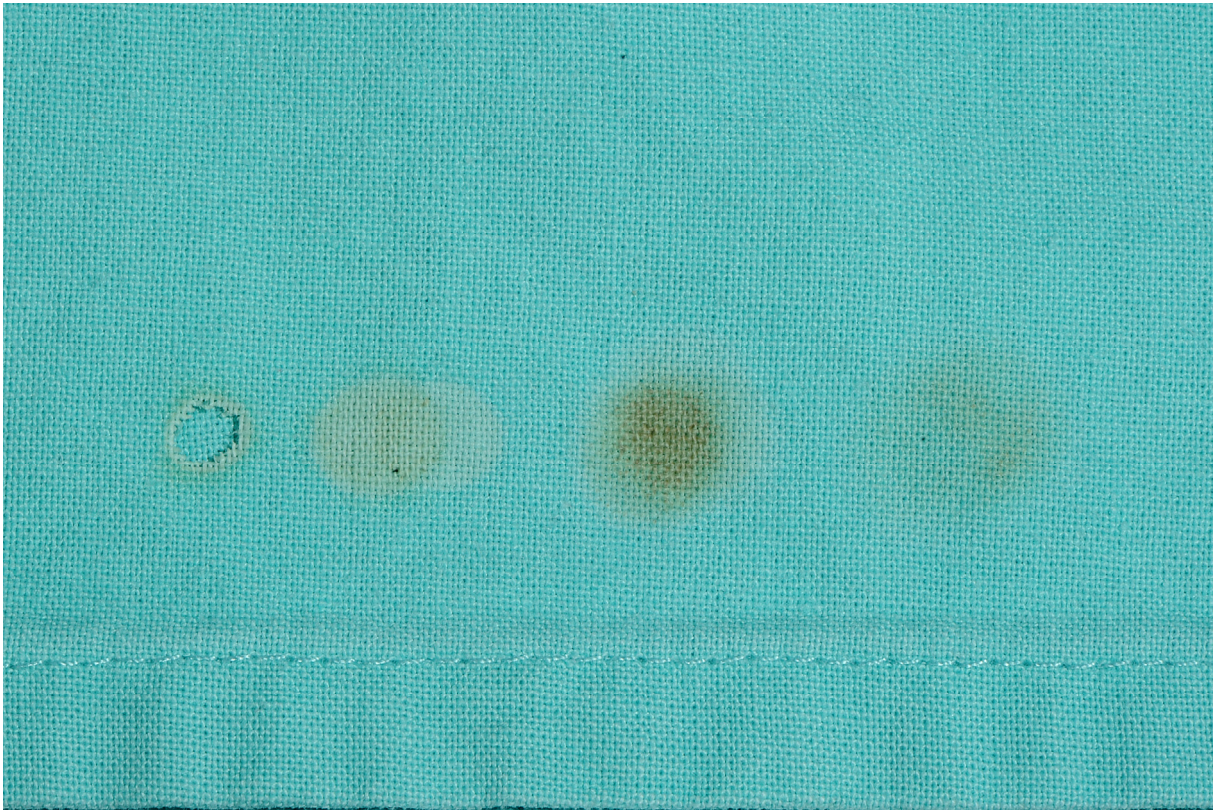


Abb. 10: Photo Zielstruktur Nr. 26 OP-Kleidung, Baumwolle

Der Beschuss mit dem Erbium:YAG-Laser in der Einstellung 2 verursacht beim OP – Tuch (Nr. 26) ein Loch in A01. In den weiteren Abständen zeigt dieses Photo die Farbumschläge.



Abb. 11: Photo Zielstruktur Nr. 13 Baumwoll-Jeans

Auf diesem Photo erkennt man die Reaktionen des Jeansstoffes (Nr. 13) auf verschiedene Lasersysteme und Einstellungen. Hervorzuheben ist, dass die Farbumschläge vom FPD, Rubinlaser, Nd:YAG-Laser als auch von Er:YAG-Laser stammen.



Abb. 12: Photo Zielstruktur Nr. 18b2 mehrfarbige Papierverpackung von Gazetupfern

Bei diesem Photo sind in erster Linie die Überreste der Flammenentwicklung beim grünen Tupferverpackungspapier (18b2) zu beachten, welche vom Er:YAG-Laser in der Einstellung 2 im Abstand A03.

#### 7.4.7 Gegenüberstellung der Materialien und Zusammenfassung der eindrucksvollsten Reaktionen

Überwiegend zeigten sich Reaktionen vor allem bei den schwarzen Stoffen, bei farbigem Leder und dem schwarzen Bleistift. Erklärbar ist dieses Phänomen durch die Absorption des Laserlichtes der verwendeten Lasersysteme - vor allem jener in infraroten Bereich - in dunklen Chromophoren. Kaum Reaktion zeigte sich bei den transparenten Plastikhüllen eines Kugelschreibers oder weißen Stoffen. Es konnte bei Beschuss von Glas keinerlei Reaktion mit irgendeinem der verwendeten Lasersysteme und keiner gewählten Einstellung der Laserparameter nachgewiesen werden. Auch Metall zeigte bis auf eine diskrete Aufrauung der Oberfläche nach Beschuss mit dem Er: YAG-Laser in der Einstellung 2, keinerlei Reaktionen. Es zeigten sich aber sehr viele Farbumschläge bei den verschiedenen Textilmaterialien. Dabei reichte die Palette von Grau über Braun

bis hin zum Schwarzwerden der Stoffe. Die beeindruckendsten Reaktionen waren jedoch die Flammenentwicklungen des weißen und grünen Papiers, der schwarzen und weißen Baumwollstoffe und des schwarz lackierten Bleistifts.

## **7.5 Diskussion**

Während der Testreihe kam es insgesamt zu vielen unerwarteten Reaktionen. Die Farbumschläge der verschiedenen Textilien, haben zwar keinen gravierenden Schaden angerichtet, könnten aber - wenn es sich um PatientInnen-Kleidung handelt - durchaus eine Rolle spielen und gegebenenfalls im Bezug auf Schadenersatzforderungen von Belang sein. Daher ist, abgesehen von der medizinischen Expertise bezüglich einer Laserbehandlung, auch in dieser Hinsicht größte Vorsicht geboten. Erklärbar sind die Farbumschläge, welche vor allem bei den farbigen und schwarzen Stoffen und den Ledermaterialien aufgetreten sind, durch die Absorption des Laserlichts in dunklen Farbpigmenten, wie sie bei dermatologischen Indikationen durchaus gewünscht sind und den Behandlungserfolg erst ermöglichen.

Bei Glas und Metall wurden die wenigsten Reaktionen nachgewiesen, was auf die Reflexionseigenschaften von Metall und auf die Durchlässigkeit von Glas für Laserlicht zurückzuführen ist. Trotzdem sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass es bei Reflexionen zu unbeabsichtigtem Auftreffen des Laserstrahls auf nicht dafür vorgesehene Körperareale oder Materialien kommen kann.

Rauchentwicklung und Brandgeruch als Zeichen einer ausgeprägten Hitzeentwicklung (thermische Energie) sind relevant bei der Behandlung mit Laserlicht. Als eine weitere Folge davon ist auch die Bildung von Löchern anzusehen und möglichst zu vermeiden. Natürlich ist der Entflammbarkeit verschiedener Materialien bei bestimmten Lasereinstellungen besondere Aufmerksamkeit zu schenken, da diese durchaus Schäden für den/die Patienten/in oder auch für den/die Behandler/in oder auch den Behandlungsraum nach sich ziehen kann. Interessanterweise kommt es bei den im infraroten Bereich des Lichtspektrums emittierenden Lasersystemen (Er:YAG-Laser und Nd:YAG-Laser) nicht im üblichen Fokus der Laserbehandlung, sondern defokussiert, erst im Abstand von 5 bzw. 10 cm zu dieser Reaktion. Ein möglicher Erklärungsversuch

für dieses Phänomen ist, dass es im Indikationsabstand, durch die große Energie auf eine kleine Fläche zu einer Vaporisierung des Materials kommt und dadurch kein Material mehr zur Entflammung vorhanden ist. Erst bei größerem Abstand, bei dem auch die Fläche größer wird, kann eine Flamme entstehen. Dadurch ergibt sich aber auch die besondere Relevanz für die Praxis: Bei unabsichtlichem Abgeben von Laserimpulsen aus weiterer Entfernung, kann es zur Entflammung kommen.

Daraus ergibt sich, dass im Umgang mit hochenergetischen Lasersystemen in der Medizin (hier in der Dermatologie) bei unsachgemäßer Handhabung und Beschuss von Materialien in der Umgebung des Behandlungsareals durchaus relevante Folgen für PatientIn und auch BehandlerIn möglich sind. Daher sollten nur speziell zum Thema Lasersicherheit (Laserschutzkurs) geschulte Ärzte und Ärztinnen derartige Behandlungen durchführen.

**„take-home-message“:** Bei unabsichtlichem Abgeben von Laserimpulsen aus weiterer Entfernung, kann es zur Flammenentwicklung kommen.

## Literaturverzeichnis

[4]: Dierickx CC, Farinelli WA, Anderson RR, Harvard Medical School – Wellman Laboratories of Photomedicine, KTP Laser Treatment of Port Wine Stains and Teleangiectasia: Brief Summary of Findings, published at [www.viviacenter.com/images/pdf/ktpows.pdf](http://www.viviacenter.com/images/pdf/ktpows.pdf) - Washington DC (center of cosmetic therapy)

[8]: A. Einstein *Zur Quantentheorie der Strahlung*. Physikalische Zeitschrift 18 (1917) 121-128; Zuerst abgedruckt in den Mitteilungen der Physikalischen Gesellschaft Zürich 18 (1916)

[1]: Seibt W, Physik für Mediziner (2003), Georg Thieme Verlag 5., unveränderte Auflage

[2]: Eichler J, Lasertechnik in der Medizin, Grundlagen, Systeme, Anwendungen, (1991) Springer Verlag

[3]: Landthaler M, Hohenleutner U, Lasertherapie in der Dermatologie, Atlas und Lehrbuch, (2006) Springer Verlag, 2., vollständig überarbeitete Auflage

[9]: Moll I, Dermatologie (2005) Duale Reihe, 6., komplett überarbeitete und erweiterte Auflage, Thieme Verlag

[10]: Waldeyer, Anatomie des Menschen (2003) 17., völlig überarbeitete Auflage; Walter de Gruyter Verlag Berlin New York

[11]: Physikalische Grundlagen und Pharmazie

<http://www.bdsoft.de/demo/index.htm?/demo/chemie/lexikon/c/chromophore.htm>

am 19.07.2010

Definition Chromophore

[12]: WaveLight, WaveLight Aesthetic GmbH; Burane/ Burane XL  
Gebrauchsanweisung Rev.9 / 07-07-23

[13]: Homepage der Seibersdorf Research Laboratories

<http://www.seibersdorf-laboratories.at/produkte-services/laser-optische-strahlung/pruefung-klassifizierung.html>

am 28.07.10; Lasersicherheit Seibersdorf

14: Homepage der Seibersdorf Research Laboratories

<http://www.seibersdorf-laboratories.at/produkte-services/laser-optische-strahlung/pruefung-klassifizierung/iec-60825-1.html>

am 28.07.10; Lasersicherheit Seibersdorf

[5]: Solon LR, Aronson R, Gould G; (1961) Physiological implications of laser beam. Science 134: 1506 – 1508

[6]: Zaret MM, Breinin GM, Schmidt H, Ripps H, Siegel IM, Solon LR; (1961) Ocular lesions produced by an optical maser (laser). Science 134: 1525 - 1526

[7]: Goldman L, Blaney DJ, Kindel DJ Jr, Franke EK; (1963) Effect of the laser beam on skin. Preliminary report. J Invest Dermatol 40: 121 – 122

[15]: Goldman L, Blaney DJ, Kindel DJ Jr, Richfield D, Franke EK; (1963) Pathology of the effect of the laser beam on skin. Nature 197: 912 – 914

[16] Bildnachweis Abb. 4

<http://www.pbc.co.th/products/BuraneXL.html>

am 19.12. 2010

[18]: Hughes PSH, Hughes PA (1998) Absence of human papillomavirus DNA in the plume of erbium:YAG laser – treats warts. J Am Acad Dermatol 28: 426 – 428

[19]: Ziegler BL, Thomas CA, Meier T, Müller R, Fliedner TM, Weber L (1998) Generation of infectious retrovirus aerosol through medical laser irradiation. Laser Surg Med 22: 37 – 41

[20]: Adrian RM, Tanghetti EA (1998) Long pulse 532-nm laser treatment of facial telangiectasia. *Dematol Surg* 24: 71-74

[21]: Spendel S, Prandl EC, Schintler MV, Siegl A, Wittgruber G, Hellbom B, Rapp T, Berghold A, Scharnagl E (2002) Treatment of spider leg veins with the KTP (532 nm) laser – a prospective study. *Laser Surg Med* 31: 194 – 201

[22]: Grevelink JM, Gonzalez S, Bonoan R, Vibhagool C, Gonzalez E (1997) Treatment of naevus spilus with the Q-switched ruby laser. *Dematol Surg* 23: 365 – 370

[23]: D. Kopera. part 13: Viral infections. in: Raulin C, Karsai S (eds.) *Laser and IPL-Technology in Dermatology and Aesthetic Medicine*, Springer Verlag, Heidelberg. in print.

[24]: Lask G, Elman M, Slatkine M, Waldman A, Rozenberg Z (1997) Laser – assisted hair removal by selective photothermolysis. Preliminary results. *Dematol Surg* 23: 737 – 739

[25]: Laser Safety, Roy Hernderson (Bioptica, Cambridge UK), Karl Schulmeister (ARC seibersdorf Research, Seibersdorf AUT); Institute of Physics Publishing Bristol & Philadelphia  
IOP Publishing Ltd 2004

[26]: Anderson RR, Parrish JA (1983), Selective photothermolysis: precise microsurgery by selective absorption of pulsed radiation, *Science* Apr 29;220(4596):524-7.

[27]: Bildnachweis Abb.5: Homepage der Klinik für Kinderchirurgie der Charité Berlin; <http://kinderchirurgie.charite.de/typo3temp/pics/d8dff8de2c.jpg>, am 28.01.2011, © Charité Berlin

[28]: Kopera D, Hohenleutner U, Landthaler M. Q-switched ruby laser treatment of solar lentigines and Becker nevus: a histopathological and immunohistochemical study. *Dermatology* 1997, 194:338-343.

[29]: Kopera D. Verrucae vulgares: flashlamp-pumped pulsed dye laser treatment in 134 patients. *Int J Dermatol* 2003 Nov;42(11): 905-908.

[30]: Berger C, Kopera D. KTP-Laser-Koagulation bei Xanthelasma palpebrarum. *JDDG* 2005; 10: 775-779.

[31]: Komericki P, Akkilic M, Kopera D. Pulsed dye laser treatment of genital warts. *Lasers Surg Med* 2006; 38(4): 273-6.

[32]: Binder B, Weger W, Komericki P, Kopera D. Behandlung von Mollusca contagiosa mit dem gepulsten Farbstofflaser: Pilotstudie an 19 Kindern. *JDDG* 2008; 6(2): 121-125.

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schema eines Laserresonators.....	12
Abb. 2: Laserinteraktion mit Zielchromophor Hämoglobin.....	24
Abb. 3: Buranelaser.....	31
Abb. 4: Medialer Naevus flammeus bei einem 12-jährigen Knaben.....	38
Abb. 5: Kindliches Hämangiom.....	42
Abb. 6: Mollusca contagiosa.....	63
Abb. 7: Photo Zielstruktur Nr. 02.....	80
Abb. 8: Photo Zielstruktur Nr. 06.....	81
Abb. 9: Photo Zielstruktur Nr. 12.....	82
Abb. 10: Photo Zielstruktur Nr. 26.....	83
Abb. 11: Photo Zielstruktur Nr. 13.....	84
Abb. 12: Photo Zielstruktur Nr. 18b2.....	85

## Bildnachweiß

Abb. 1: Eigener Entwurf nach [1]

Abb 2: Eigener Entwurf nach [3]

Abb 3: Übernommen aus [16]

Abb 4: Dermatologie LKH Univ-Klinikum Graz, mit freundlicher Genehmigung von Frau Prof.in Dr.in Daisy Kopera

Abb 5: Photo © Charité Berlin

Abb 6: Übernommen aus [23]

Abb 7 – 12: Photos der Testreihe

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wichtigste Parameter des Nd:YAG Lasers [3].....	25
Tabelle 2: Wichtigste Laserparameter des FPDL [3].....	26
Tabelle 3: Wichtige Laserparameter des Rubinlasers [3].....	27
Tabelle 4: Wichtige Laserparameter des Nd:YAG – Lasers [3].....	28
Tabelle 5: Wichtige Parameter des Er:YAG Lasers [3].....	31
Tabelle 6: Lasersicherheitsklassen übernommen aus [14].....	36
Tabelle 7: Übersicht Phakomatosen [9].....	37

**Anhang**

**Testreihe Protokoll**

**Testreihe Tabellen**

# **Protokoll der Testreihe Laserbeschuss 1 am 24.08.2010**

## **Laser Safety Evaluation 2010**

AUSWIRKUNGEN VON HOCHENERGETISCHEM LASERLICHT AUF  
NICHTBIOLOGISCHE GEWEBE IM UMFELD DES DERMATOLOGISCHEN  
BEHANDLUNGSAREALS

### **Zielstruktur:**

- Nr. 01a: Leder dunkelgrün: Vorderseite
- Nr. 01b: Leder dunkelgrün: Rückseite
- Nr. 02a: Leder gelb: Vorderseite
- Nr. 02b: Leder gelb: Rückseite
- Nr. 03a: Leder hellblau Vorderseite
- Nr. 03b: Leder hellblau Rückseite
- Nr. 04a: Leder hellgrau Vorderseite
- Nr. 04b: Leder hellgrau Rückseite
- Nr. 05a: Leder rot: Vorderseite
- Nr. 05b: Leder rot Rückseite
- Nr. 06: 100% Baumwolle schwarz glatt
- Nr. 07: 100% Baumwolle schwarz strukturiert
- Nr. 08: Synthetik schwarz (95% Viskose/5% Elastan)
- Nr. 09: Baumwollgemisch schwarz (80% Baumwolle/20% Elastan)
- Nr. 10: 100% Baumwolle weiß
- Nr. 11: Baumwollgemisch creme (80% Baumwolle/ 20% Elastan)
- Nr. 12: Baumwollgemisch rot (80% Baumwolle/ 20% Elastan)
- Nr. 13: Jeansstoff (80% Viskose/ 16% Polyamid/ 4% Elastan)
- Nr. 14: Mantel weiß (Baumwollmischgewebe)
- Nr. 15: Papier weiß
- Nr. 16: Latexhandschuh
- Nr. 17: Metall
- Nr. 18a: Gazin (Plastikhülle)
- Nr. 18b1: Gazin Papier weiß
- Nr. 18b2: Gazin Papier grün (Schrift)
- Nr. 18c: GazinTupfer
- Nr. 19: Glas
- Nr. 20: Bleistift schwarz
- Nr. 21: Kugelschreiber transparent
- Nr. 22a: Kugelschreiberkappe blau
- Nr. 22b: Kugelschreiberkappe rot
- Nr. 22c: Kugelschreiberkappe schwarz
- Nr. 23: Strumpfhose schwarz
- Nr. 24: Strumpfhose hell
- Nr. 25: Holz
- Nr. 26: OP – Hemd grün

## **LaserNr:**

L01: Farblaser 532 nm  
L02: FPDL 585/595 nm  
L03: Rubin 694 nm  
L04:Nd:YAG 1064 nm  
L05: Er:YAG 2940 nm

## **Abstand:**

A01: Indikationsabstand  
A02: A01+5cm  
A03: A01+10cm  
A04: A01+20 cm

## **Energiedichten:**

Die Energiedichten werden den realen Indikationsenergiedichten, wie sie in der Praxis verwendet werden, entsprechend gewählt.

Laser 01 (L01): fd-Nd:YAG – Laser (KTP – Laser) (532 nm)  
Einstellung 1: 18J/cm<sup>2</sup> , spot size 1mm, Impulsdauer 40ms  
Einstellung 2: 24J/cm<sup>2</sup>, spot size 1mm, Impulsdauer 40ms  
Laser 02 (L02): FPDL (595 nm)  
Einstellung 1: 10J/cm<sup>2</sup>; spot size 7mm, Impulsdauer 45 ms  
Einstellung 2: 12J/cm<sup>2</sup>; spot size 7mm, Impulsdauer 1,5 ms  
Laser 03 (L03): q-switched-Rubinlaser (694 nm)  
Einstellung 1: 4J/cm<sup>2</sup>; spot size 4mm, Impulsdauer 40ns  
Laser 04 (L04): Nd:YAG-Laser (1064 nm)  
Einstellung 1: 200J/cm<sup>2</sup>; spot size 1,5 mm, Impulsdauer 30 ms  
Einstellung 2: 25J/cm<sup>2</sup>; spot size 5 mm, Impulsdauer 15 ms  
Laser 05 (L05): Er:YAG-Laser (2940 nm)  
Einstellung 1: 4J/cm<sup>2</sup>; spot size 5mm, Impulsdauer 0,35 ms  
Einstellung 2: 8J/cm<sup>2</sup>; spot size: 5mm Impulsdauer 0,35 ms



















# Lebenslauf

Ingrid Peterschinek  
Nibelungengasse 19/4  
8010 Graz

---

## Persönliche Angaben

Adresse: Nibelungengasse 19/4  
8010 Graz  
e-mail Adresse: [ingrid.peterschinek@hotmail.com](mailto:ingrid.peterschinek@hotmail.com)  
Geburtsdatum: 20.03.1986

## Ausbildung

1992-1996: Volksschule Diex  
1996 – 2004: Bundesgymnasium und Bundesrealgymnasium Völkermarkt (Alpen –  
Adria Gymnasium)  
2004 – 2011: Studium der Humanmedizin an der Medizinischen Universität Graz

## Praktika

- Februar 2006: Famulatur an der chirurgischen Abteilung des Allgemein öffentlichen Krankenhauses der Elisabethinen GmbH in Klagenfurt (2 Wochen)
- September 2006: Famulatur an der Abteilung für Plastische, Rekonstruktive und Ästhetische Chirurgie am Landeskrankenhaus Klagenfurt (3 Wochen)
- August 2007: Famulatur an der Abteilung für Neurochirurgie am Landeskrankenhaus Klagenfurt (2 Wochen)
- September 2007: Famulatur an der Abteilung für Plastische, Rekonstruktive und Ästhetische Chirurgie am Landeskrankenhaus Klagenfurt (3 Wochen)
- Februar 2008: Famulatur an der Abteilung für Unfallchirurgie am Landekrankenhaus Klagenfurt (2 Wochen)

## Auslandspraktikum

- August 2008: Mitarbeit beim Research Exchange Project „Adenoviral Vectors in Cancer Therapy“ an dem Department für Biochemie des „Hospital Universitario „José Eleuterio González“ Monterrey, Mexico (4 Wochen)

## Spezielle Weiterbildungen im Rahmen des Studiums (Spezielle Studienmodule laut Studienplan O202)

- Klinisch – topographische Anatomie der Extremitäten
- Klinisch – topographische Anatomie der Eingeweide
- Klinisch – topographische Anatomie der Kopf – Hals – Region
- Von der Theorie zur Praxis: Chirurgische Operationslehre

## Sprachen und andere Qualifikationen

- Englisch (8 Jahre)
- Französisch (4 Jahre)
- Latein (6 Jahre)
- ECDL (Europäischer Computerführerschein)