

C. Raulin<sup>1</sup> · W. Kimmig<sup>2</sup> · S. Werner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Praxis für Dermatologie, Phlebologie und Allergologie Dr. med. Christian Raulin, Karlsruhe und Laserklinik Karlsruhe

<sup>2</sup> Hautklinik Universitäts-Krankenhaus Hamburg-Eppendorf (Direktorin: Prof. Dr. I. Moll)

# Lasertherapie in der Dermatologie und Ästhetischen Medizin

## Nebenwirkungen, Komplikationen und Behandlungsfehler

### Zusammenfassung

In der Dermatologie werden unterschiedliche Lasersysteme eingesetzt. Für die Anwender ist nicht nur das jeweilige Behandlungsspektrum von Bedeutung, sondern auch welche unerwünschten Reaktionen im Rahmen einer Laserbehandlung auftreten können. Das Nebenwirkungs- und Komplikationsprofil der gängigen Geräte wird in der vorliegenden Arbeit vorgestellt und verglichen, und deren Möglichkeiten und Grenzen werden dargestellt. Typische Behandlungsfehler werden aufgezeigt. Eine dermatologische Facharztausbildung, umfangreiche lasertherapeutische Erfahrungen sowie die Einhaltung und Erfüllung von definierten Qualitätsrichtlinien sind Voraussetzungen für ein sicheres Behandlungsergebnis.

### Schlüsselwörter

Laser · Nebenwirkungen · Komplikationen · Behandlungsfehler

Die Lasertechnologie in der Dermatologie hat sich in den letzten 3 Jahrzehnten schnell entwickelt. Der zuerst eingesetzte medizinische Laser war ein Prototyp des Rubinlasers (Wellenlänge 694 nm), der Anfang der 60er-Jahre von Maiman konstruiert und von Goldman klinisch getestet wurde [31, 53]. Die ersten Laser arbeiteten im Dauerstrich („continuous wave/cw“)-Modus, der einen kontinuierlichen Laserstrahl erzeugt, welcher insbesondere von dermalen Zielstrukturen absorbiert wird. Der limitierende Faktor ist jedoch, dass die Laserenergie durch Wärmeleitung auch auf benachbarte Hautstrukturen einwirkt. Der Argonlaser war der erste klinisch weit verbreitet angewendete Laser. Narbenbildungen, Hypopigmentierungen und Fibrosierungen wurden beobachtet. Ähnliche Nebenwirkungen treten beim cw-CO<sub>2</sub>-Laser auf, der seit mehr als 2 Jahrzehnten zur Exzision und Hautablation eingesetzt wird.

Die Sicherheit und Effektivität der neuen Lasergeneration sind im Wesentlichen den Arbeiten von Anderson u. Parrish zuzuschreiben [7]. Ihre Theorie der selektiven Photothermolyse legte den Grundstein für ein neues Verständnis zur Interaktion zwischen Laserstrahl und Gewebe. Eine Chromophore oder eine bestimmte Zielstruktur kann selektiv zerstört werden mit minimaler ther-

mischer Gewebsschädigung im Randbereich, wenn das emittierte Laserlicht optimal von den entsprechenden Zielstrukturen (z. B. Hämoglobin, Melanin oder Wasser) absorbiert wird und wenn die Einwirkzeit des Laserlichts kürzer ist als die thermische Relaxationszeit (=Zeit, die die entsprechende Zielstruktur benötigt, um auf die Hälfte abzukühlen). Dieses Konzept hat in den 80er-Jahren die Lasertechnologie revolutioniert. Es wurden gütegeschaltete (sog. Q-switched; Pulslänge: ns) und gepulste (Pulslänge: µs [kurzgepulst] bis ms [langgepulst]) Lasersysteme entwickelt, die das Einsatzspektrum der cw-Laser immer mehr einschränkten. Unter Kenntnis des oben genannten Prinzips lässt sich bereits das Nebenwirkungsprofil des jeweiligen Lasertyps vorhersehen. Laser mit Wellenlängen, die gut von Melanin absorbiert werden, können melaninhaltige Zellen zerstören, aber auch Hypopigmentierungen hervorrufen. Laser, die die Absorptionskurve des Oxyhämoglobins kreuzen, können eine Blutgefäßschädigung und Purpura erzeugen. Alle Laser besitzen ein gewisses Potential zur Bildung postinflammatorischer Hyperpigmentierungen, wenn

Dr. Christian Raulin  
Kaiserstraße 104, 76133 Karlsruhe,  
E-Mail: info@raulin.de, www.raulin.de

C. Raulin · W. Kimmig · S. Werner

## Laser therapy in dermatology and aesthetic medicine

Side effects, complications, and treatment faults

### Abstract

Many different laser systems are used in dermatology. To wisely choose the correct laser for a given problem, one must be aware of both the spectrum of disorders for which each laser is suited and the potential side effects. We compare the side effect and complication profiles of the common laser systems pointing out their possibilities and limitations. Typical treatment errors will be pointed out. Dermatological training, extensive experience in laser therapy and compliance with quality guidelines are prerequisites for safe and successful treatment.

### Keywords

Laser · Side effects · Complications · Treatment faults

## Übersicht

die Epidermis verletzt wird. Beim cw- und „quasi-continuous-wave“-Laser besteht aufgrund der nichtspezifischen, thermischen Diffusion ein größeres Risiko zu Narbenbildungen und Texturveränderungen. Laser, die nach dem Konzept der selektiven Photothermolyse gebaut wurden, wirken spezifischer auf das Gewebe und haben ein geringeres Risiko für Narben, besitzen jedoch auch ein eigenes Nebenwirkungsprofil. Abhängig von der Wellenlänge, Energie und Pulsdauer, können Pigmentveränderungen, epidermale Zellschädigung, Texturveränderungen und auch Krustenbildung auftreten. Es ist in diesem Zusammenhang wichtig zu erwähnen, dass prinzipiell jeder Laser Verletzungen und Gewebeveränderungen verursachen kann, wenn er nicht korrekt angewendet wird (z. B. Einsatz eines falschen Lasertyps; zu hohe Energiedichte; Überlappung der Impulse).

Die folgende Arbeit gibt einen Überblick über die Nebenwirkungen und Komplikationen der in der Dermatologie und Ästhetischen Medizin eingesetzten Lasersysteme. Es werden des weiteren Behandlungsfehler aufgezeigt und diskutiert.

### Nebenwirkungen und Komplikationen der Lasersysteme

#### Neodym-Yttrium-Aluminium-Granat- (Nd:YAG-)Laser (1064 nm)

Im cw-Modus kommt es im Gewebe durch homogene Absorption zu einer unspezifischen Koagulation. In histologischen Untersuchungen fanden sich epidermale und dermale Nekrosen sowie zerstörte Gefäße mit koagulierten Erythrozyten [49]. Die relativ hohe Wellenlänge bedingt eine Eindringtiefe von bis zu 5–10 mm [32, 36, 76]. Im cw-Modus wird dieser Laser deshalb vorwiegend in der interstitiellen und perkutanen Therapie tiefliegender Hämangiome eingesetzt [10, 34, 77, 78]. Nebenwirkungen, insbesondere Narben, treten aufgrund der Eindringtiefe und unspezifischen Wirkung im Gewebe nicht selten auf [40]. Durch die sog. Eiskühlung kann bei perkutaner Laseranwendung eine oberflächliche Karbonisation vermindert werden [78].

In der Dermatologie wird der Nd:YAG-Laser zunehmend im gütege-

schalteten (Q-switched-)Modus eingesetzt. Durch Absorption in Gewebspigmenten und einer Pulszeit von 5–20 ns wirkt der Laser nach dem Prinzip der selektiven Photothermolyse. Es können somit schwarze und schwarzblaue Tätowierungen sowie Schmutztätowierungen und melanozytäre Hautveränderungen, wie z. B. der Naevus Ota, entfernt werden [32, 45, 60, 69, 76]. Unmittelbar nach Auftreffen des Laserimpulses kommt es zu einer umschriebenen weißlichen Verfärbung der Haut; jene stellt das Ergebnis einer explosionsartigen Hitzeentwicklung (>1000°C) mit anschließendem Verdampfen von Gewebswasser dar. Nach einigen Minuten ist diese wieder verschwunden. Bei hohen Energiedichten (>5 J/cm<sup>2</sup>) treten obligat epidermale Rupturierungen mit nachfolgenden punktförmigen Blutungen und Krustenbildung auf. Innerhalb von 10–12 Tagen erfolgt die Abheilung. Das Risiko für die Entwicklung atropher oder hypertropher Narben ist mit <4,5% gering [19, 33, 46, 52, 76]. Textur- und Pigmentveränderungen treten selten auf [55] und meist nur dann, wenn in zu kurzen Zeitabständen (<4 Wochen) oder mit hohen Energiedichten behandelt wurde [8, 76].

Über generalisierte kutane allergische Reaktionen auf Tätowierungspigmente nach Nd:YAG-Laserbehandlung wurde berichtet [11]. Als weitere Komplikation ist das sog. „ink-darkening“ insbesondere nach Behandlung weißer, fleisch- oder rosafarbener Permanent-Make-ups oder von Schmucktätowierungen bekannt. Hierbei wird direkt nach der Behandlung ein Farbumschlag zu dunkelgrün, braun oder grauschwarz erkennbar. Die genauen chemischen Hintergründe sind noch unklar. Es wird eine Umwandlung von Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zu FeO und/oder anderen Eisenverbindungen diskutiert [6]. In der Mehrzahl der Fälle lassen sich diese Diskolorationen unter Einsatz gütegeschalteter Laser wieder entfernen.

#### Neodym-Yttrium-Aluminium-Granat- (Nd:YAG-)Laser (532 nm)

Durch Vorschaltung eines Kalium-Titanyl-Phosphat- (KTP-)Kristalls wird das 1064nm-Nd:YAG-Laserlicht in seiner Frequenz verdoppelt, d. h., die Wellenlänge wird auf 532 nm halbiert. Das entstehende grüne Licht wird gut von mela-

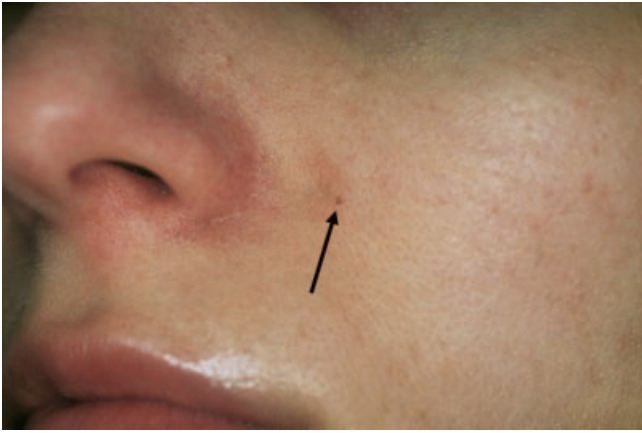


Abb. 1 ▲ **Atrophe Narbe nach Behandlung von Teleangiektasien mit dem langgepulsten Nd:YAG-Laser bei fehlendem Kontakt des Cooltips zur Haut**

nin- und oxyhämoglobinhaltigen Strukturen absorbiert. Daraus ergibt sich seine Anwendung in der Behandlung epidermaler pigmentierter Läsionen, vasculärer Hautveränderungen und auch in der Entfernung roter, orangefarbener und gelber Tätowierungspigmente [2, 15, 25, 29, 40, 45, 76].

Zu den Nebenwirkungen, die bei Einsatz des gütegeschalteten Lasers beobachtet wurden, gehören ein transientes Erythem, das energieabhängig bis zu 6 Wochen anhalten kann, Purpura für ca. 1 Woche, Pigment- und Texturveränderungen sowie Blasenbildung [29, 72, 76]. Meist treten oberflächliche Krusten auf. Es gibt keine Berichte über bleibende Narben. Zu postinflammatorischen Hyperpigmentierungen kommt es in bis zu 8% der Fälle, betont bei dunklen Hauttypen [29, 40, 55, 72]. Bei höheren Energiedichten können – wie beim 1064nm-Nd:YAG-Laser-Punktblutungen auftreten [52, 72]. Unter der Behandlung wird ein mehr oder weniger stark brennender Schmerz empfunden, der auch nachhaltig bis zu 2 Tage persistieren kann. Ein häufiges Problem ist die unvollständige Entfernung epidermaler pigmentierter Hautveränderungen und das damit verbundene Auftreten von Rezidiven, z. B. Becker-Nävi oder Café-au-lait-Flecke (eigene Erfahrungen).

Seit 1995 sind auch langgepulste 532nm-Nd:YAG-Laser (Pulsdauer bis 50 ms) zur Behandlung vasculärer Hautveränderungen verfügbar [2, 17]. Obligat treten hierbei ein transientes Erythem und eine Schwellung bis zu 4 Tage auf. Gelegentlich finden sich Purpura und oberflächliche Krüstchen, die innerhalb von 7–10 Tage abheilen. Die im langge-

pulsten Modus eingesetzten höheren Energiedichten machen eine vorgeschaltete Hautkühlung erforderlich. Ist diese unzureichend oder trifft der Laserimpuls auf nicht gekühlte Haut, kann es zu Blasen und Ulzerationen mit anschließenden Hypopigmentierungen und/oder atrophen Narben kommen (Abb. 1). Postinflammatorische Hyperpigmentierungen wurden beobachtet, besonders bei der Behandlung an den Beinen sowie bei dunkleren Hauttypen (III und IV nach Fitzpatrick) oder sonnengebräunter Haut.

#### Rubinlaser (694 nm)

Dieser Laser ist in einem gütegeschalteten und einem langgepulsten Modus verfügbar.

Der gütegeschaltete Rubinlaser emittiert Laserimpulse mit einer Dauer von wenigen Nanosekunden (25–40 ns). Das rote Licht, das besonders gut von Melanin und exogenen dunklen Farbteilchen absorbiert wird, ist mit seiner kurzen Expositionszeit und dadurch minimaler thermischer Schädigung des umliegenden Gewebes für die Behandlung epidermaler (Café-au-lait-Fleck, Lentigo benigna, Epheliden usw.) und dermaler (Naevus Ota, Schmutz- und Schmucktätowierungen) Pigmente geeignet [28, 60, 61, 74, 76]. Jedoch treten auch hier Nebenwirkungen wie Gewebsalterationen, Ödeme, Blasenbildung und selten Punktblutungen auf [70, 76]. Wie alle gütegeschalteten pigmentspezifischen Laser erzeugt auch der Rubinlaser eine grünlich weiße epidermale Gewebsreaktion von kurzer Dauer. Ein ähnli-

ches Phänomen ist an zufällig mitbehandelten Haaren zu beobachten. Die Weißfärbung dunkler Haare ist dabei reversibel. Da das physiologisch in der Epidermis enthaltene Melanin ebenfalls das Rubinlaserlicht absorbiert, ist das Risiko zu transienten Hypopigmentierungen, die bis zu 6 Monate persistieren können, mit 25–50% relativ hoch [40, 54, 55]. Postinflammatorische Hyperpigmentierungen treten seltener auf. Gewöhnlich ist mit Krusten zu rechnen, die innerhalb von 10–12 Tagen abheilen. Häufig sind transiente epidermale Atrophien (bis 50%) zu finden; permanente Narben kommen jedoch bei weniger als 5% der Patienten vor [52, 55, 62].

Das bereits beim Nd:YAG-Laser beschriebene Dunklerwerden weißer, haut- oder pinkfarbener Tätowierungspigmente kann auch bei Behandlung mit dem Rubinlaser auftreten (Abb. 2; [6]). Des Weiteren wurden kutane allergische Reaktionen nach Rubinlasertherapie von Tätowierungen beschrieben. Es wird angenommen, dass durch die Laserbehandlung intrazelluläres Pigment in den Extrazellulärraum freigesetzt wird, wo es zum Antigen wird. Sowohl lokalisierte als auch generalisierte urtikarielle, pruriginöse oder ekzematöse Hautreaktionen können sich entwickeln [11].

Die Gefahr von Rezidiven bei Behandlung pigmentierter Hautläsionen



Abb. 2 ▲ **Sog. „Ink darkening“ einer hautfarbenen kosmetischen Übertätowierung von Verätzungsarben nach Rubinlaserbehandlung**





Abb. 3 ▲ Hypopigmentierung 1 Monat nach Rubinlaserbehandlung von Beinhaaren

besteht auch beim Rubinlaser. So können behandelte Café-au-lait-Flecke und Becker-Nävi innerhalb von 6–12 Monaten teilweise repigmentieren [28]. Dies ist besonders bedeutsam für melanozytäre Nävi, deren Behandlung mit dem gütegeschalteten Rubinlaser kontrovers diskutiert wird.

In der Behandlung von postinflammatorischen Hyperpigmentierungen (z. B. hyperpigmentierte Verbrennungsnarben, Hyperpigmentierung nach Besenreisersklerosierung) haben wir entgegen anderen Autoren [54, 70] gute Resultate erzielt. Bei vorsichtiger Vorgehensweise kann bei Energiedichten zwischen 4 und 10 J/cm<sup>2</sup> eine Aufhellung erreicht werden [59, 61]. Als Ursachen für eine mögliche Therapieresistenz werden neben der individuellen Neigung zu Hyperpigmentierungen und dem Hauttyp (dunklere Hauttypen sind häufiger betroffen) auch die sehr variable Lage des Melanins in Epidermis und Dermis diskutiert (unvollständige Entfernung dermalen Melanins). Möglicherweise wird die Melaninproduktion durch die Lasertherapie sogar angeregt (stärkere Hyperpigmentierungen) [54, 70].

Seit einigen Jahren werden langgepulste (270 µs–3 ms) Rubinlaser zur Haarentfernung eingesetzt [37]. Schwellung, Blasen, Krusten, Follikulitiden sowie Hypopigmentierungen (Abb. 3) sind als mögliche Nebenwirkungen zu nen-

nen. Durch die Behandlung an der Oberlippe kann ein Herpes simplex ausgelöst werden (eigene Erfahrungen).

### Alexandritlaser (755 nm)

Der Alexandritlaser im gütegeschalteten Modus (50–100 ns) wird zur Entfernung schwarzer, blauschwarzer und grüner Tätowierungen sowie benignen pigmentierter Hautveränderungen (z. B. Lentigo benigna, Café-au-lait-Flecke, Naevus Ota) eingesetzt [3, 21, 40]. Sowohl Hypo- als auch Hyperpigmentierungen können nach einer Alexandritlasertherapie auftreten. Bei Patienten, die wegen Tätowierungen behandelt werden, kommen in bis zu 50% der Fälle transiente Hypopigmentierungen vor (Dauer: 3–6 Monate), besonders bei Patienten dunkleren Hauttyps und nach einer großen Anzahl von Lasersitzungen (durchschnittlich >7) [40, 55]. Bei hoher Energiedichte (>7,5 J/cm<sup>2</sup> bei jungen, intensiv pigmentierten Tätowierungen; >9 J/cm<sup>2</sup> bei alten, blassen Tätowierungen) können Punktblutungen und oberflächliche Gewebsdefekte entstehen, jedoch seltener als beim Nd:YAG-Laser [3, 21, 55]. In weniger als 4% werden Narben und Texturveränderungen beobachtet [21]. Das sog. „ink-darkening“ bei Tätowierungsbehandlungen ist auch beim gütegeschalteten Alexandritlaser beschrieben worden [55].

Der Alexandritlaser im langgepulsten Modus (bis 40 ms) wird seit einigen Jahren zur lang anhaltenden Haarentfernung angewendet. Posttherapeutisch sind ein perifollikuläres Ödem und ein Erythem zu beobachten, die sich innerhalb von 3–4 h auflösen. Blasen- und epi-

dermale Krustenbildung mit nachfolgender Hyperpigmentierung können in 6–15% der Fälle, insbesondere bei dunkleren Hauttypen und gebräunter Haut (Abb. 4), auftreten [20, 57]. Transiente Hypopigmentierungen, die bis zu 3 Monate anhielten, wurden in einer Studie von 126 Patienten bei etwa 6% beobachtet [20]. Bei Therapie im perioralen Bereich treten gelegentlich Herpes-simplex-Infektionen auf (eigene Beobachtungen).

### CW-Argonlaser (488 und 514 nm)

Der CW-Argonlaser ist in den 70er- und 80er-Jahren primär zur Behandlung vaskulärer Läsionen wie Naevi flammei und Hämangiomen eingesetzt worden. Die Entfernung von Tätowierungen stellt dabei kein Indikationsgebiet mehr dar (Abb. 5). Das Licht dieses Lasers wird effektiv von Oxyhämoglobin, aber auch von epidermalem Melanin absorbiert. Insbesondere bei dunkler pigmentierten Patienten besteht hierdurch ein erhöhtes Risiko für permanente Pigmentstörungen (besonders Hypopigmentierungen) im behandelten Areal [18, 38].

Aufgrund seines Dauerstrichmodus (Pulsdauer größer als thermische Relaxationszeit) erzeugt der Argonlaser in radialer Umgebung der Zielgefäße eine gewebeschädigende Hitzeentwicklung [18, 40]. Ausgedehntere Hautveränderungen (z. B. Naevi flammei) neigen häufiger zu Narben (Abb. 6) als kleine, wahrscheinlich aufgrund der Hitzestreuung und -akkumulation [18]. Hypertrophe Narben bereits 4–6 Wochen nach Behandlung von Feuermalen konnte in bis zu 38% nachgewiesen werden [18, 55]. An besonders vul-



Abb. 4 ▲ Hyperpigmentierung 6 Monate nach Behandlung mit dem langgepulsten Alexandritlaser

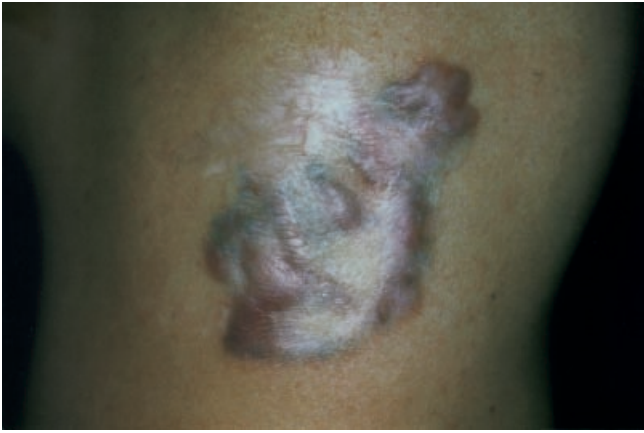


Abb. 5 ▲ Keloid, Hypopigmentierung und verbliebene Restpigmente nach Behandlung einer Laientätowierung mit dem Argonlaser

nerablen Körperstellen wie Nase (Abb. 7), Oberlippe oder den Extremitäten, sind häufig atrophe Närbchen zu finden [25, 55]. Bei Behandlung tieferliegender Gefäße (0,8–1,3 mm) kommt es eher zu Narben als bei oberflächlichen, da hierfür höhere Energiedichten notwendig sind [18]. Des Weiteren wurde über das Auftreten eines Granuloma pyogenicum [16] und die theoretische Provozierung eines diskoiden Lupus erythematoses [81] nach Argonlasertherapie berichtet. Die posttherapeutische Entwicklung eines Herpes simplex wurde beschrieben [15]. Hinzu kommt die recht lange Behandlungsdauer bei einem Pulsdurchmesser von maximal 1 mm. Der Argonlaser ist in der Behandlung von Feuermalen bei Kindern und Jugendlichen aufgrund unbefriedigender Ergebnisse und hoher Nebenwirkungsrate mittlerweile kontraindiziert.

#### Gepulster Farbstofflaser (577/585/590/595/600 nm)

Dieser blitzlampengepumpte Laser arbeitet nach dem Prinzip der selektiven Photothermolyse [7]: Zielstrukturen sind kleine Gefäße (Erythrozyten, Hämoglobin); die Impulsdauer liegt mit 0,3–1,5 ms unter der thermischen Relaxationszeit dieser Gefäße. Der gepulste Farbstofflaser hat ein breites Indikationsspektrum und ein geringes Nebenwirkungspotential [24, 39, 40]. Die obligat auftretende Purpura (Extravasation von Erythrozyten) und mögliche Krusten können bis zu 14 Tage anhalten [82]. Blasen treten selten auf (1–5,9%; [67, 80]). Transiente Hypopigmentierungen wurden in 2,2–26%, Hyperpigmentie-

rungen (besonders an Extremitäten) in bis zu 85% der Fälle beschrieben [14, 39, 43, 55, 67, 79, 80]. Atrophe und hypertrophe Narbenbildungen werden sehr selten beobachtet (0,1%–4,3% bzw. 0,7–3,6%) [14, 26, 39, 43, 55, 67, 80]. Vereinzelt wurde die Provokation eines Granuloma pyogenicum im behandelten Areal beschrieben [1, 80].

#### CO<sub>2</sub>-Laser (10.600 nm)

Das Licht des CO<sub>2</sub>-Lasers wird von Gewebsflüssigkeit absorbiert, was zu einer Koagulation und Vaporisation des Gewebes führt.

Im cw-Modus wird dieser Laser u. a. als „Lichtskalpell“ und z. B. zur Therapie von tumorösen Hautveränderungen und Warzen eingesetzt. Häufige Nebenwirkungen sind hierbei Hypopigmentierungen (bis 29%), hypertrophe Nar-

ben und Keloide (bis 25%; [55]). Die Behandlung von Tätowierungen ist aufgrund der fehlenden Selektivität und dem damit verbundenen hohen Narbenbildungsrisiko obsolet (Abb. 8). Die Rezidivneigung unvollständig entfernter dermaler Nävi ist bekannt (Abb. 9). Die Infektiosität von Rauchgasen und die Gefahr der Ansteckung für den Operateur während der Laserbehandlung von Warzen (HPV) werden unter Einhaltung entsprechender Schutzmaßnahmen (Mundschutz, Rauchabzug) als minimal eingeschätzt [27, 66].

Die in den letzten Jahren entwickelten gepulsten CO<sub>2</sub>-Lasersysteme arbeiten präziser in der Gewebsabtragung und besitzen dementsprechend ein geringeres Risiko von Nebenwirkungen und Komplikationen. Bemerkenswert ist das Nebenwirkungsprofil bei großflächiger Behandlung, wie z. B. beim Skin Resurfacing alters- und sonnenbedingter Fältchenhaut oder Aknenarben. Die am häufigsten vorkommende Begleitreaktion ist das postoperative Erythem, das bei nahezu allen Patienten in den ersten 4–6 Wochen zu beobachten ist. Nicht selten persistieren die Rötungen bis zu 8 Monate nach der Laserbehandlung [13, 23, 56, 65]. Als Ursachen werden ein zu starkes Reiben mit Mullkompressen nach den einzelnen Laserdurchgängen (entsprechend einer „manuell-mechanischen Dermabrasion“; [65]) sowie eine tiefe Abtragung (mehrere Passes, hohe Energiedichten, Überlappungen) diskutiert [56, 65]. Auch topisches Tretinoin kann ein ausgeprägtes (bei Vorbehandlung) und prolongiertes Erythem (bei Nachbehandlung) verursachen [65]. Der postoperative positive Effekt tretinoinhaltiger Externa (be-



Abb. 6 ▲ Atrophe hypopigmentierte Närbchen nach Argonlasertherapie eines großflächigen Naevus flammeus





Abb. 7 ▲ Atrophe Narbe nach Behandlung eines Spider-Nävus mit dem Argonlaser

schleunigte Reepithelisation der Wundfläche) sollte gegen das mögliche Auftreten einer unerwünscht starken und/oder lange dauernden Rötung individuell abgewogen werden. Die Angaben für postinflammatorische Hyperpigmentierungen variieren in der Literatur zwischen 2,8 und 83% (abhängig vom Hauttyp; [13, 41, 55, 56]). Seltener treten Hypopigmentierungen (transient; 1–16,3%) und Narben (1–2,8%) auf [13, 55, 56]. Das Phänomen der sog. Alabasterhaut nach Skin Resurfacing mit einem Paragon-CO<sub>2</sub>-Laser wurde beschrieben (Abnahme des epidermalen Melanins ohne Veränderung der Anzahl an Melanozyten; [50]). Eine gefürchtete Komplikation ist das Auftreten eines Ektropiums, besonders nach vorausgegangenen Blepharoplastiken oder einem Facelift [23, 56]. Durch eine Laserbehandlung wird die Talgproduktion angeregt, wodurch es zu einer vorübergehenden Pustulosis und zu Milienbildungen (in bis zu 14%) kommen kann [23, 55, 56]. Herpes-simplex-Infektionen wurden in bis zu 7,4%, bakterielle Infektionen (besonders *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* und *epidermidis*) in 1–47% der Fälle beobachtet [12, 55, 56, 68]. Als seltene Nebenwirkung wurde über eine transepidermale Eliminierung elastischer Fasern berichtet, die als gelbliche und violettfarbene Papeln 18–22 Tage nach dem Laserresurfacing auftrat [63]. Kontaktallergische und toxisch-irritative Hautreaktionen werden im Rahmen der Nachbehandlung mit antibiotikahaltigen Salben und feuchtigkeitsspendenden Externa häufig beschrieben (ca. 10%; [55, 56]). Ein durchaus gewollter Nebeneffekt ist das sog. Kollagen-Shrinking, bei dem aufgrund der Hitzeentwicklung eine Kontraktion besonders des Typ-1-Kolla-

gens und somit eine zusätzliche Hautstraffung induziert wird [22, 64].

Problematisch ist das Skin Resurfacing am Hals. Aufgrund der im Vergleich zum Gesicht veränderten Hautstruktur treten hier häufiger Hypopigmentierungen und Narben auf (Abb. 10; [23]).

### Erbium:YAG-Laser (2940 nm)

Dieser im mittleren Infrarotbereich arbeitende gepulste Laser hat ein ähnliches Indikationsspektrum wie der gepulste CO<sub>2</sub>-Laser. Der thermische Gewebefekt ist so gering, dass eine Blutstillung nicht erreicht werden kann. Als ein gewisser Nachteil ist das Fehlen des hitzebedingten Kollagen-Shrinkings bei der Behandlung von Fältchen zu bewerten [40]. Die Schmerzhaftigkeit und das Narbenrisiko sind geringer ausgeprägt als beim CO<sub>2</sub>-Laser, aber bei falscher Vorgehensweise dennoch möglich (Abb. 11). Transiente Hyperpigmentierungen wurden nach Skin Resurfacing in 10% bei Hauttyp-III-Patienten beobachtet [75]. Gelegentlich kommt es zur Exazerbation einer Akne oder zu Follikulitiden [5, 75]. Wie beim CO<sub>2</sub>-Laser können in der Nachbehandlung eines Skin Resurfacings kontaktallergische und toxisch-irritative Hautreaktionen sowie Herpes-simplex- und selten bakterielle Infektionen auftreten [5, 56].

### Kupferdampf/Kupferbromidlaser (511/578 nm)

Indikationen für dieses Lasersystem sind vaskuläre Hautveränderungen [32, 42, 55, 58]. Die emittierten Einzelimpul-

se sind sehr kurz (20–50 ns) und liefern nicht genügend Energie, um Gefäße zu koagulieren, sondern erreichen nur eine Gefäßruptur. Es müssen hierbei Salven von Einzelimpulsen (Repetitionrate 15–16 KHz) erzeugt werden. Im Gewebe wirken diese Impulse additiv, simulieren einen kontinuierlichen Laserstrahl („quasi-cw“) und bewirken so eine Koagulation von Gefäßen. Entsprechend den Literaturangaben besteht ein unterschiedlich großes Risiko für das Auftreten von Narben (3,5–20%), Hypopigmentierungen (1,4–47%) und Hyperpigmentierungen (1,4–15%); letztere sind abhängig vom Hauttyp (nach Fitzpatrick) bzw. vom Bräunungsgrad [38, 55, 58]. Über passagere inkomplette Fazialispareesen bei der Behandlung kindlicher Gesichtshämangiome wurde vereinzelt berichtet [42].

### Kryptonlaser (520, 530 und 568 nm)

Der Kryptonlaser emittiert grünes und gelbes Licht mit einer Impulsdauer von 50 ms. Indikationsbereich ist v. a. die Photokoagulation oberflächlicher dermaler Gefäße, wie z. B. Teleangiektasien und Spider-Nävi. Thibault berichtet über temporäre, diskrete atrophe Narben (Abb. 12) bei 11% der Patienten [71]. Seltener werden Hypo- oder Hyperpigmentierungen beschrieben [71].



Abb. 8 ▲ Hypertrophe Narben und Keloide als Behandlungsfehler nach Therapie von Tätowierungen mit dem cw-CO<sub>2</sub>-Laser



Abb.9 ▲ Rezidiv eines behaarten Nävuszellnävus nach CO<sub>2</sub>-Laserbehandlung

### Pigment-Farbstofflaser (510 nm)

Dieser Laser erzeugt kurze Impulse (300–500 ns), die gut von epidermalem Melanin absorbiert werden und somit das Indikationsspektrum prägen (z. B. Tätowierungen, Lentigo benigna, Café-au-lait-Flecke; [4, 35, 55]). Komplikationen wie transiente Hyperpigmentierungen kommen in durchschnittlich 15–33% der Fälle vor mit Rückbildung nach 2–6 Monaten. Gelegentlich treten Hypopigmentierungen auf, die sich aber schnell repigmentieren [32, 55]. Über eine bis zu 6 Monate anhaltende Hypopigmentierung nach Therapie eines Café-au-lait-Flecks wurde berichtet [4]. Neben der unmittelbaren Weißfärbung der Haut und der bis einige Stunden anhaltenden Purpura ist auch bei diesem Laser u. U. ein irreversibles Pigmentdarkening bei kosmetischen Tattoos (z. B. Permanent-Make-up) zu beobachten [55].

### Kontraindikationen zur Lasertherapie

#### Nävuszellnävi

Die Behandlung oberflächlicher erworbener und kongenitaler Nävuszellnävi mit Lasersystemen, insbesondere mit dem gütegeschalteten Rubinlaser, ist entsprechend der Laser-Gewebe-Wechselwirkung prinzipiell im Einzelfall möglich. Über kontrollierte Therapieversuche kongenitaler Nävuszellnävi bei Kindern und Jugendlichen sowie bei kleinen kongenitalen Nävi (Durchmesser <5 cm) mittels gütegeschaltetem Rubinlaser wurde in der Literatur berichtet [28, 30, 73]. Aufgrund des histologi-

schon Aufbaus der Nävuszellnävi kommt es jedoch in vielen Fällen zu Rezidiven, die histologisch als sog. Pseudomelanome imponieren (Abb. 13), was u. U. größere Exzisionen erforderlich macht. Rezidivnävi entstehen dadurch, dass Nävusanteile, die bis ins mittlere oder tiefere Korium reichen, nicht vollständig entfernt werden. Ursache hierfür können eine zu geringe Energiedichte und zu kurze Impulsdauer (25–40 ns) bei Verwendung des Rubinlasers sein. Nachteilig bei diesem pigmentspezifischen Laser ist zusätzlich, dass melaninfreie Nävusmelanozyten möglicherweise nicht oder nur unzureichend zerstört werden, also persistieren können [28, 30, 73]. Auch bei Anwendung des CO<sub>2</sub>- oder Er:YAG-Lasers für dermale (pigmentierte) Nävi besteht die Gefahr, dass Nävuszellen in der Tiefe verbleiben, insbesondere Melanin tragende Zellen, da keine pigmentspezifische Thermolyse stattfindet. Rezidive sind daher vorprogram-

miert. Die persistierenden Nävomelanozyten infiltrieren – vielfach entlang der Hautadnexe – die Junktionszone über dem Narbenbereich. Dabei kann zur Tiefe hin eine scheinbar nävuszellfreie Zone entstehen. Die in die Junktionszone neu einwachsenden Nävomelanozyten imitieren jetzt strukturell und zytologisch ein Melanom (daher „Pseudomelanom“) mit folgenden Kriterien: dominierende Einzelzellen in der Basalzona mit moderater Dysplasie, konfluierende Nester von Nävomelanozyten, lamelläre Fibroplasie. In der Regel sind diese atypischen Nävuszellpopulationen nur auf die Zone unmittelbar über der histologischen Narbe begrenzt (s. Abb. 13b).

Behandelt man ein oberflächliches Melanom, entsteht ein anderes histologisches Bild. Hier persistieren tatsächlich atypische Nävomelanozyten und führen zu unmittelbarer intraepidermaler Proliferation. Histologisch dominiert das Bild eines klassischen oberflächlich spreitenden Melanoms. Dabei fehlt im mittleren und tieferen Korium sehr oft eine Nävomelanozytenpopulation, die als Indiz für einen vorbestehenden Nävuszellnävus gewertet werden könnte. Es lässt sich somit histologisch zwischen Rezidivmelanom und Rezidivnävuszellnävus nach Lasertherapie differenzieren.

Pigmentierte Hautveränderungen (z. B. Lentigines, Epheliden, seborrhoische Keratosen) sollten somit nicht unkritisch ohne genaue dermatologische Diagnosestellung (Auflichtmikroskopie, Probebiopsie) behandelt werden. Die Patienten müssen in kürzeren Zeitabständen (alle 3–4 Wochen) klinisch und



Abb. 10 ▲ Narben nach Skin Resurfacing mit einem SilkTouch-CO<sub>2</sub>-Laser



Abb. 11 ▲ Narbe 1 Jahr nach Erbium:YAG-Laserbehandlung von Mimikfalten

auflichtmikroskopisch nachkontrolliert werden. Grundsätzlich sind atypische (dysplastische) melanozytäre Läsionen oder eine Lentigo maligna per se von einer Laserbehandlung auszuschließen. Für den gütegeschalteten Rubinlaser wurde nachgewiesen, dass er derartige Hautveränderungen nicht vollständig entfernen kann [51].

### Chloasma

Das Chloasma stellt für viele Frauen eine starke kosmetische Beeinträchtigung dar. Der gütegeschaltete Rubinlaser ist jedoch nach verschiedenen Studien und Erfahrungsberichten keine effektive Methode zur Entfernung dieser pigmentierten Hautveränderungen, da in einem Drittel der Fälle keine Befundverbesserung und bei einem weiteren Drittel sogar eine Befundverschlechterung mit Hyperpigmentierung eintrat (Abb. 14; [47, 70]).

### Kommerzielle Vermarktung der Lasertherapie

Zeitschriften, Rundfunk und Fernsehen sind ideale Medien zur Vorstellung neuer Methoden in der Medizin, so auch der Lasermedizin. Neben wissenschaftlich fundierten findet man allerdings ebenso kommerzielle und über „PR“-Agenturen lancierte Berichte sowie Werbeanzeigen. Im Zeitalter des Internet sind auch zunehmend Informationen und Angebote zahlreicher Institute, Praxen und Kliniken für die verschiedensten Laseranwendungen abrufbar. Nicht selten stößt man hier auf unangemessen euphorisch klingende, nicht zu realisierende („Nach 2–3 Sitzungen sind ca. 80–90% der be-

handelten Haare beseitigt“) als auch – aus dermatologischer Sicht – auf nicht zu vertretende Therapievorschläge und -aussichten („1064nmNd:YAG-Laser hervorragend geeignet zur Beseitigung von: Nävuszellnävus (pigmentierte Muttermale) und dunkel pigmentierten Pigmentflecken.“ – Zitate aus der Homepage eines Dermatologen).

Auch sind Vorsicht und Sachkenntnis bei der Orientierung über beworbene neue Laser der zahlreichen Herstellerfirmen geboten. Ein Beispiel war die Einführung des „skin resurfacing“ mit CO<sub>2</sub>-Lasersystemen. Umfangreiche, klinische Untersuchungen zu Wirksamkeit, Sicherheit und Nebenwirkungsprofil dieser Methoden waren zum Zeitpunkt der breiten Markteinführung der CO<sub>2</sub>-Laser nicht verfügbar. Angewiesen auf eine teils aggressive Werbung der Firmen, die jeweils das eigene Gerät als bestes herausstellen, fehlte einem verantwortungsbewussten Anwender die Grundlage für eine sachlich fundierte Entscheidung.



Abb. 12 ▲ Atrophe, hyperpigmentierte Narbenbildung nach Kryptonlasertherapie

„Once a technique or instrument is brought to the public's attention by newspapers, television, radio, woman's magazines or other forms of advertising, the scientific evaluation is over, and the race is on ... the quickest way to force acceptance of a medical technique or instrument is to convince the public, who in turn convince physicians, who demand approval and use. Again, the rationale is that 'If I don't do it, someone else will'. This is the new scientific method in medicine.“ [9]

### Haftungsrechtliche Probleme

Ein weiteres Problem sind zunehmend Prozesse vor Zivilgerichten und Schlichtungsverfahren vor der Gutachterstelle „Für Fragen der Ärztlichen Haftung“ der jeweiligen Ärztekammern. Meistens liegen folgende Behandlungsfehler vor, die zu einer Schadensersatzpflicht führen:

- Auswahl nicht geeigneter Laser für den geplanten Eingriff, somit keine selektive Therapie.
- Unterlassung einer Probebehandlung, die in der Regel geboten ist, um Hautreaktionen zu prüfen und mögliche Nebenwirkungen und u. U. mangelnden Therapieerfolg zu erkennen. Wird gerade bei kosmetischen Eingriffen auf eine Probetherapie verzichtet, führt das bei Misserfolg vielfach zu berechtigten Regressansprüchen, da diese Patienten im Sinne eines Werkvertrags einen Therapieerfolg erwarten. Grundsätzlich ist natürlich eine ausführliche und detaillierte Aufklärung der Patienten unerlässlich.



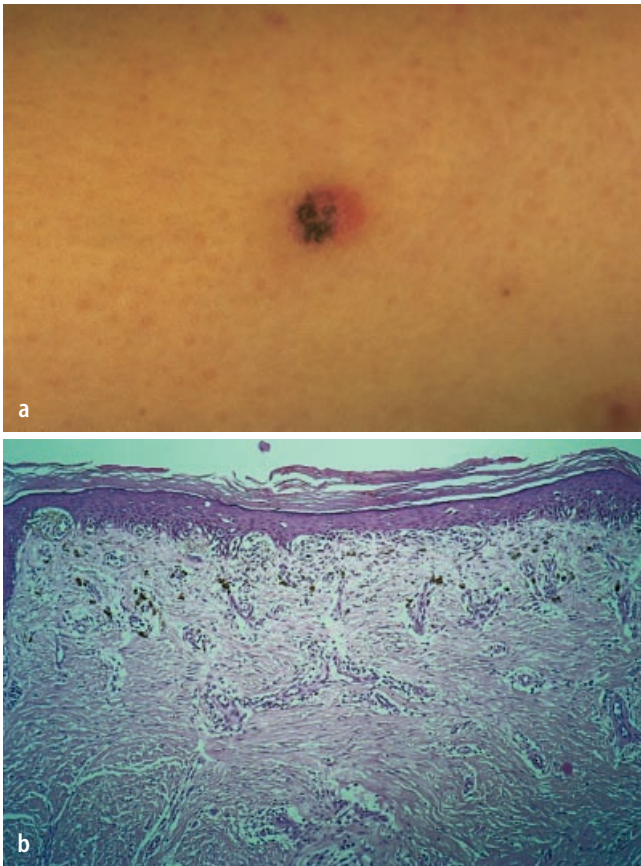


Abb. 13 ▲ a Rezidiv eines Nävuszellnävus unter dem Bild eines „Pseudomelanoms“ bei einer 28-jährigen Frau nach Behandlung mit dem Er:YAG-Laser. b Histologisches Bild (HE-Färbung): typische Dreischichtung mit junctionaler Melanozytenproliferation, angrenzender korialer Narbenzone und in der Tiefe gelegenen residualen banalen Nävomelanozytennestern

- Beharren auf der Liquidation: Bei fehlendem Therapieerfolg oder Auftreten von Nebenwirkungen wird gegenüber dem Patienten weiterhin auf Erhalt des Honorars bestanden. Dieses unverständliche Verhalten von Ärzten führt zwangsläufig zu einer Verärgerung.

### Qualitätskriterien und Qualitätssicherung

Ein wichtiges Problem der Lasertherapie ist die Behandlung durch medizinische Laien. Mittlerweile sind die Bestrebungen, dieses zu untersagen, Erfolg versprechend. Das Ministerium für Frauen, Familie und Gesundheit des Landes Nordrhein-Westfalen hat im Juli 1998 entschieden, dass die Entfernung von Tätowierungen durch Laser als Heilmethode anzusehen ist und somit nur von ärztlichem Personal ausgeübt werden darf (Entscheidung vom 30.7.98; AZ: III B 2 [neu] – 0401 12-). Zu hoffen

bleibt, dass sich diese verantwortungsvolle Einstellung überall in Deutschland durchsetzt. Die Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt (Arbeitsgruppe Laserstrahlung) hat zum Thema „Gefahren bei Laseranwendung am Menschen durch medizini-

nische Laien“ eine Stellungnahme in Vorbereitung. Abzulehnen sind Äußerungen wie aus dem Bundesministerium für Gesundheit: „Wenn ein Nichtmediziner diese Leistungen erbringt, muss er selbst wissen, was er tut, und gut versichert sein.“ (Zitat aus [44]).

Die Deutsche Dermatologische Lasergesellschaft (DDL) und die Arbeitsgemeinschaft Dermatologische Lasertherapie (ADL) der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft (DDG) haben zum Zweck der Qualitätssicherung Richtlinien zur Durchführung von Laser- und Lichtbehandlungen der Haut erarbeitet. Der Laseranwender findet hier die theoretischen Voraussetzungen. Auch sind die Anforderungen an die fachliche Befähigung der Ärzte, die dermatologische Lasertherapien durchführen, aufgelistet (Sach- und Fachkundennachweis).

Zusammenfassend ist zu sagen, dass prinzipiell jeder Laser ein bestimmtes Nebenwirkungsprofil hat und auch Narben provozieren kann. Wichtig ist, dass jeweils der geeignete Lasertyp mit optimalen Parametern eingesetzt wird. Wie überall in der Medizin gehören eine fundierte Ausbildung, kontinuierliche Weiterbildung sowie ethische Einstellung und kritische Selbsteinschätzung als Voraussetzung zum Handeln eines jeden Arztes, der mit Lasersystemen arbeitet. Er sollte seine Patienten objektiv, richtig und frei von finanziellem Interesse beraten, dabei auch selbstverständlich über Alternativmethoden aufklären.

„If you don't need the laser, don't use it.“  
(Leon Goldman)



Abb. 14 ▲ Hyperpigmentierung (rechts) nach Rubinlasertherapie eines Chloasmas . Nur die rechte Seite wurde gelasert

## Anmerkung

Die vorliegenden Photodokumentationen stammen aus dem Archiv unserer Gutachterstätigkeit. Die Abb. 14 wurde uns freundlicherweise von Priv.-Doz. Dr. M. Drosner und Dr. T. Hebel (München) zur Verfügung gestellt.

**Danksagung.** Für die fachliche Unterstützung zum Thema „Näviszellnävus“ und die Bereitstellung histologischen Bildmaterials danken wir Herrn Dr. Heinz Kutzner (Dermatohistopathologisches Gemeinschaftslabor Friedrichshafen).

## Literatur

- Abd-el-Raheem TA, Hohenleutner U, Landthaler M (1994) Granuloma pyogenicum as a complication of flashlamp-pumped pulsed dye laser. *Dermatologica* 189:283–285
- Adrian RM, Tanghetti EA (1998) Long pulse 532-nm laser treatment of facial telangiectasia. *Dermatol Surg* 24:71–74
- Alster TS (1995) Q-switched alexandrite laser treatment (755 nm) of professional and amateur tattoos. *J Am Acad Dermatol* 33:69–73
- Alster TS (1995) Complete elimination of large cafe-au-lait birthmarks by the 510-nm pulsed dye laser. *Plast Reconstr Surg* 96:1660–1664
- Alster TS (1999) Clinical and histologic evaluation of six Erbium:YAG lasers for cutaneous resurfacing. *Lasers Surg Med* 24:87–92
- Anderson RR, Geronemus R, Kilmer SL, Farinelli WA, Fitzpatrick RE (1993) Cosmetic tattoo ink darkening. A complication of Q-switched and pulsed-laser treatment. *Arch Dermatol* 129:1010–1014
- Anderson RR, Parrish JA (1983) Selective photothermolysis: precise microsurgery by selective absorption of pulsed radiation. *Science* 220:524–527
- Anderson RR, Margolis RJ, Watanabe S, Flotte T (1989) Selective photothermolysis of cutaneous pigmentation by Q-switched Nd:YAG laser pulses at 1064, 532, and 355 nm. *J Invest Dermatol* 93:28–32
- Anderson RL (1985) Eyelid tattooing. A sign of the times. *Arch Ophthalmol* 103:1469–1471
- Apfelberg DB, Maser MR, White DN et al. (1990) Combination treatment of massive cavernous hemangioma of the face: YAG laser photocoagulation plus direct steroid injection following by YAG laser resection with sapphire scalpel tips, aided by superselective embolization. *Lasers Surg Med* 10:217–223
- Ashinoff R, Levine VJ, Soter NA (1995) Allergic reactions to tattoo pigment after laser treatment. *Dermatol Surg* 21:291–294
- Bellman B, Brandt FS, Holtmann M, Bebell WR (1998) Infection with methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* after carbon dioxide resurfacing of the face. Successful treatment with minocycline, rifampin, and mupirocin ointment. *Dermatol Surg* 24:279–282
- Bernstein LJ, Kauvar ANB, Grossman MC, Geronemus RG (1997) The short- and long-term side effects of carbon dioxide laser resurfacing. *Dermatol Surg* 23:519–525
- Boixeda P, Nunez M, Perez B, Heras de las MA, Hilara Y, Ledo A (1997) Complications of 585-nm pulsed dye laser therapy. *Int J Dermatol* 36:393–397
- Derby LD, Low DW (1997) Laser treatment of facial venous vascular malformations. *Ann Plast Surg* 38:371–378
- De Rooij MJ, Neumann HA (1995) Granuloma telangiectaticum after argon laser therapy of a spider nevus. *Dermatol Surg* 21:356–357
- Dierickx CC, Farinelli WA, Flotte T, Anderson RR (1996) Effect of long-pulsed 532 nm Nd:YAG laser on portwine stains (PWS). *Lasers Surg Med* 19:188
- Dixon J, Huether S, Roterling RH (1984) Hypertrophic scarring in argon laser treatment of portwine stains. *Plast Reconstr Surg* 73:771–780
- Ferguson JE, August PJ (1996) Evaluation of the Nd:YAG laser for treatment of amateur and professional tattoos. *Br J Dermatol* 135:586
- Finkel B, Eliezi YD, Waldman A, Slatkine M (1997) Pulsed alexandrite laser technology for noninvasive hair removal. *J Clin Las Med Surg* 15:225–229
- Fitzpatrick RE, Goldman MP (1994) Tattoo removal using the alexandrite laser. *Arch Dermatol* 130:1508–1514
- Fitzpatrick RE, Goldman MP, Satur NM, Tope WD (1996) Pulsed carbon dioxide laser resurfacing of photoaged facial skin. *Arch Dermatol* 132:395–402
- Fulton JE Jr (1997) Complications of laser resurfacing. Methods of prevention and management. *Dermatol Surg* 24:91–99
- Garden JM, Bakus AD, Paller AS (1992) Treatment of cutaneous hemangiomas by the flashlamp-pumped pulsed dye laser. Prospective analysis. *J Pediatr* 120:555–560
- Garden JM, Bakus AD (1997) Laser treatment of port-wine stains and hemangiomas. *Dermatol Clinics* 15:373–383
- Gaston DA, Clark DP (1998) Facial hypertrophic scarring from pulsed dye laser. *Dermatol Surg* 24:523–525
- Gloster HM, Roenigk RK (1995) Risk of acquiring human papillomavirus from the plume produced by the carbon dioxide laser in the treatment of warts. *J Am Acad Dermatol* 32:436–441
- Goldberg DJ (1993) Benign pigmented lesions of the skin: treatment with the Q-switched ruby laser. *J Dermatol Surg Oncol* 19:376–379
- Goldberg DJ, Marcus J (1996) The use of the frequency-doubled Nd:YAG laser in the treatment of small cutaneous vascular lesions. *Dermatol Surg* 22:841–844
- Goldberg DJ, Stampien T (1995) Q-switched ruby laser treatment of congenital nevi. *Arch Dermatol* 131:621–623
- Goldman L, Blaney DJ, Kindel DJ, Franke EK (1963) Effect of the laser beam on the skin: preliminary report. *J Invest Dermatol* 40:121–122
- Goldman MP, Fitzpatrick RE (1994) Cutaneous laser surgery. The art and science of selective photothermolysis. Mosby, St. Louis
- Goyal S, Arndt KA, Stern RS et al. (1997) Laser treatment of tattoos: a prospective, paired, comparison study of the Q-switched Nd:YAG (1064 nm), frequency-doubled Q-switched Nd:YAG (532 nm), and Q-switched ruby lasers. *J Am Acad Dermatol* 36:122
- Grantzow R (1998) Kombination von Nd:YAG-Lasertherapie und chirurgischer Therapie in der Behandlung von Hämangiomen. In: Kautz G, Cremer H (Hrsg) *Hämangiome: Diagnostik und Therapie in Bild und Text*. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, S 99–107
- Grekin RC, Shelton RM, Geisse JK et al. (1993) 510-nm pigmented lesion dye laser. Its characteristics and clinical uses. *J Dermatol Surg Oncol* 19:380–387
- Greve B, Raulin C (2000) Der Nd:YAG-Laser im Wandel der (Impuls-)Zeiten. Einsatzgebiete in der Dermatologie. *Hautarzt* 51:152–158
- Grossman MC, Dierickx C, Farinelli W, Flotte T, Anderson RR (1996) Damage of hair follicles by normal-mode ruby laser pulses. *J Am Acad Dermatol* 35:889–894
- Haedersdal M, Wulf HC (1997) Risk assessment of side effects from copper vapor and argon laser treatment: the importance of skin pigmentation. *Lasers Surg Med* 20:84–89
- Hellwig S, Petzoldt D, Raulin C (1997) Der gepulste Farbstofflaser – Möglichkeiten und Grenzen. *Hautarzt* 48:536–540
- Hellwig S, Petzoldt D, König K, Raulin C (1998) Aktueller Stand der Lasertherapie in der Dermatologie. *Hautarzt* 49:690–704
- Ho C, Nguyen Q, Lowe NJ, Griffin ME, Lask G (1995) Laser resurfacing in pigmented skin. *Dermatol Surg* 21:1035–1037
- Höhmman D, Waner M, Schwager K (1995) Therapiekonzept bei Hämangiomen – Photokoagulation mit dem Kupferdampf laser. *Laryngorhinootologie* 74:238–241
- Hohenleutner U, Wenig M, Walthert T, Bäuml W, Landthaler M (1998) Behandlung von Besenreisern mit einem blitzlampengepumpten gepulsten Farbstofflaser mit 1,5 ms Impulsdauer. *Hautarzt* 49:560–565
- Hornstein M (1999) Die Lasertherapie ist eine medizinische Tätigkeit. *Dtsch Derm* 47:194
- Kilmer SL, Anderson RR (1993) Clinical use of the Q-switched ruby and the Q-switched Nd:YAG (1064 and 532 nm) lasers for treatment of tattoos. *J Dermatol Surg Oncol* 19:330–338
- Kilmer SL, Lee MS, Grevelink JM, Flotte TJ (1993) The Q-switched Nd:YAG laser effectively treats tattoos. *Arch Dermatol* 129:971–978

47. Kopera D, Hohenleutner U, Landthaler M (1995) Melasma: Keine Indikation für den Rubinlaser. *Z Hautkr* 70:414–416
48. Lanigan SW (1998) Port-wine stains unresponsive to pulsed dye laser: explanations and solutions. *Br J Dermatol* 139:173–177
49. Landthaler M, Haina D, Brunner R (1986) Effects of argon, dye, and Nd:YAG lasers on epidermis, dermis, and venous vessels. *Lasers Surg Med* 6:87–93
50. Laws RA, Finley EM, McCollough ML, Grabski WJ (1998) Alabaster skin after carbon dioxide laser resurfacing with histologic correlation. *Dermatol Surg* 24:633–636
51. Lee PK, Rosenberg CN, Tsao H, Sober AJ (1998) Failure of Q-switched ruby laser to eradicate atypical-appearing solar lentigo: report of two cases. *J Am Acad Dermatol* 38:314–317
52. Levine VJ, Geronemus RG (1995) Tattoo removal with the Q-switched ruby laser and the Q-switched Nd:YAG laser: a comparative study. *Cutis* 55:291–296
53. Maiman T (1960) Stimulated optical radiation in ruby. *Nature* 187:493–494
54. Michel S, Hohenleutner U, Bäumler W, Landthaler M (1997) Der gütegeschaltete Rubinlaser in der Dermatotherapie. Anwendung und Indikation. *Hautarzt* 48:462–470
55. Nanni CA, Alster TS (1998) Complications of cutaneous laser surgery. A review. *Dermatol Surg* 24:209–219
56. Nanni CA, Alster TS (1998) Complications of carbon dioxide laser resurfacing. An evaluation of 500 patients. *Dermatol Surg* 24:315–320
57. Nanni CA, Alster TS (1998) A practical review of laser-assisted hair removal using the Q-switched Nd:YAG, long-pulsed ruby, and long-pulsed alexandrite lasers. *Dermatol Surg* 24:1399–1405
58. Pickering JW, Walker EP, Butler PH, van Halewyn CN (1990) Copper vapour laser treatment of port-wine stains and other vascular malformations. *Br J Plast Surg* 43:273–282
59. Raulin C, Hellwig S, Schönemark MP (1997) Hyperpigmented burn injuries of the face – treatment with the Q-switched ruby laser. *Plast Reconstr Surg* 99:265–266
60. Raulin C, Emonds T (1998) Entfernung von Schmutztätowierungen durch gütegeschaltete Laser. *Chirurg* 69:1270–1274
61. Raulin C, Schönemark MP, Greve B, Werner S (1998) Q-switched ruby laser treatment of tattoos and benign pigmented skin lesions: a critical review. *Ann Plast Surg* 41:555–565
62. Reid WH, Miller ID, Murphy MJ, Paul JP, Evans JH (1990) Q-switched ruby laser treatment of tattoos; a 9-year experience. *Br J Plast Surg* 43:663–669
63. Richert SM, Bridenstine J (1998) Transepidermal elimination of elastic fibers after carbon dioxide laser resurfacing. *Dermatol Surg* 24:275–278
64. Ross EV, Grossman MC, Duke D, Grevelink JM (1997) Long-term results after CO<sub>2</sub> laser skin resurfacing: a comparison of scanned and pulsed systems. *J Am Acad Dermatol* 37:709–718
65. Ruiz-Esparza J, Gomez JMB, Gomez de la Torre OL, David L (1998) Erythema after laser skin resurfacing. *Dermatol Surg* 24:31–34
66. Sawchuck WS, Weber PJ, Lowy DR (1989) Infectious human papillomavirus in the vapor of warts treated with the carbon dioxide laser or electrocoagulation. *J Am Acad Dermatol* 21:41–49
67. Seukeran DC, Collins P, Sheehan-Dare RA (1997) Adverse reactions following pulsed tunable dye laser treatment of port wine stains in 701 patients. *Br J Dermatol* 136:725–729
68. Sriprachya-Anunt S, Fitzpatrick RE, Goldman MP, Smith SR (1997) Infections complicating pulsed carbon dioxide laser resurfacing for photoaged facial skin. *Dermatol Surg* 23:527–536
69. Suzuki H (1996) Treatment of traumatic tattoos with the Q-switched Neodym:YAG laser. *Arch Dermatol* 132:1226–1229
70. Taylor CR, Anderson RR (1994) Ineffective treatment of refractory melasma and postinflammatory hyperpigmentation by Q-switched ruby laser. *J Dermatol Surg Oncol* 20:592–597
71. Thibault PK (1997) A patient's questionnaire evaluation of krypton laser treatment of facial telangiectases. A comparison with the copper vapor laser. *Dermatol Surg* 23:37–41
72. Tse Y, Levine VJ, McClain SA, Ashinoff R (1994) The removal of cutaneous pigmented lesions with the Q-switched ruby laser and the Q-switched Neodym:Yttrium-Aluminium-Garnet laser. *J Dermatol Surg Oncol* 20:795–800
73. Waldorf HA, Kauvar ANB, Geronemus RG (1996) Treatment of small and medium congenital nevi with the Q-switched ruby laser. *Arch Dermatol* 132:301–304
74. Watanabe S, Takahashi H (1994) Treatment of nevus of Ota with the Q-switched ruby laser. *N Engl J Med* 331:1745–1750
75. Weiss RA, Harrington AC, Pfau RC, Weiss MA, Marwaha S (1999) Periorbital skin resurfacing using high energy Erbium:YAG laser: results in 50 patients. *Lasers Surg Med* 24:81–86
76. Werner S, Drosner M, Raulin C (1999) Entfernung von Tätowierungen mit dem gütegeschalteten Rubinlaser (694 nm) und dem gütegeschalteten Nd:YAG-Laser (532 und 1064 nm). *Hautarzt* 50:174–180
77. Werner S, Raulin C (1999) Aktueller Stand der Lasertherapie bei Säuglingshämangiomen. *Hautarzt* 50:841–847
78. Werner JA, Lippert BM, Hoffmann P, Rudert H (1995) Nd:YAG laser therapy of voluminous hemangiomas and vascular malformations. *Adv Otorhinolaryngol* 49:75–80
79. West TB, West TS (1998) Comparison of the long-pulse dye (590–595 nm) and KTP (532 nm) lasers in the treatment of facial and leg telangiectasias. *Dermatol Surg* 24:221–226
80. Wlotzke U, Hohenleutner U, Abd-el-Raheem TA, Bäumler W, Landthaler M (1996) Side-effects and complications of flashlamp-pumped pulsed dye laser therapy of port-wine stains. A prospective study. *Br J Dermatol* 134:475–480
81. Wolfe JT, Weinberg JM, Elenitsas R, Uberti-Benz M (1997) Cutaneous lupus erythematosus following laser induced thermal injury (Vignette). *Arch Dermatol* 133:392–393
82. Zachary CB (1996) Purpura after use of the 585-nm pulsed dye laser. *Dermatol Surg* 22:191

**Eingegangen:** 5. Mai 1999

**Angenommen:** 7. Juli 1999