

6/2017 Dezember

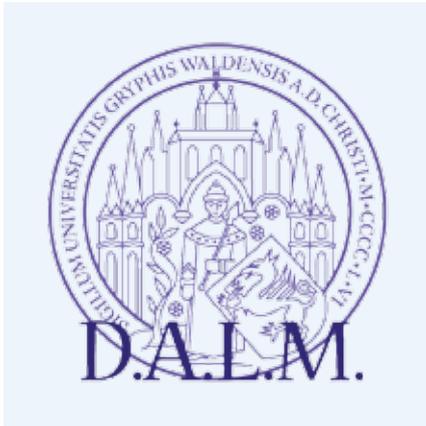
C 14118

derm

Praktische Dermatologie



Entfernung von Tätowierungen – State of the Art 2017



S. Hammes, C. Raulin

Summary

In our article we present the current state of the therapy options for tattoo removal as well as the possible complications and side effects. The choice of the appropriate laser, the sensible technical settings and the practical procedure varies according to tattoo color and localization. We provide recommendations for management and explain the possibilities for optimization of the individual procedures. The removal of tattoos should always be reserved for physicians who have sufficient experience in laser therapy and should not be performed without a realistic, ethical and competent assessment of the possible therapy success after extensive patient education.

Keywords

Tattooing, tattoo removal, laser therapy.

Zusammenfassung

In unserem Artikel stellen wir den aktuellen Stand der Therapieoptionen zur



Abb. 1: Hypopigmentierte Narben nach einmaliger Injektions-Behandlung mit Milchsäure in einem Kosmetikinstitut

Tattoorentfernung sowie der möglichen Komplikationen und Nebenwirkungen dar. Die Wahl des geeigneten Lasers, der sinnvollen technischen Einstellungen und das praktische Vorgehen variiert individuell nach Tattoofarbe und Lokalisation. Wir geben Empfehlungen zum Management und erläutern Optimierungsmöglichkeiten der einzelnen Verfahren. Die Entfernung von Tätowierungen sollte grundsätzlich Ärzten und Ärztinnen vorbehalten bleiben, die über ausreichende Erfahrungen in der Lasertherapie verfügen und nicht ohne eine realistische, ethische und kompetente Einschätzung des möglichen Therapieerfolgs nach ausführlicher Aufklärung des Patienten erfolgen.

Schlüsselwörter

Tätowierung, Tattoo-Entfernung, Lasertherapie.

Einleitung

Die Tätowierungsentfernung mittels Laser geht auf Experimente von *Gold-*

man et al. (1) aus dem Jahr 1963 zurück. Diese wurden 1983 von *Reid* et al. (2) wiederaufgenommen. Seitdem hat sich die Technologie in diesem Bereich kontinuierlich fortentwickelt.

Verwendung finden vor allem der güteschaltete (»q-switched« [qs]) Rubin- (694 nm), Alexandrit- (755 nm), der frequenzverdoppelte KTP-Nd:YAG-Laser (532 nm) und der Nd:YAG-Laser (1.064 nm) (3). Aktuell wird der Einsatz von Pikosekundenlasern intensiv diskutiert (4). Eine abschließende Bewertung steht noch aus.

Auch heute noch werden Dermabrasion, Salabrasion, Anwendung von Säuren, Kryochirurgie, der CO₂-, der Argonlaser und die Exzision als Alternativen propagiert und angewendet, unter dem Auftreten zum Teil erheblicher Nebenwirkungen (z.B. Milchsäure) (Abb. 1, 7, 9). Diese Verfahren hinterlassen ästhetisch inakzeptable Narben, Hypopigmentierungen sowie sonstige permanente Nebenwirkungen und sind daher strikt abzulehnen.

Ziele und Aufklärung

Ziel der Laserbehandlung von Tätowierungen sollte eine möglichst vollständige, residuenfreie Entfernung sein (Abb. 2). Ausnahme hiervon ist der Wunsch nach Aufhellung von Tätowierungen, um ein Cover-Up (Überstechen einer Tätowierung) durchführen zu lassen. Den Grad der Aufhellung für ein mögliches Cover-Up muss der Patient mit dem zuständigen Tätowierer absprechen.

Im Idealfall kann die vollständige Entfernung bei Laientätowierungen nach 4 bis 7 und bei Profitätowierungen nach 15 bis 20 oder mehr Sitzungen (Abb. 3 u. 4) erreicht werden (5). Für die reine Aufhellung sind im Allgemeinen weniger Behandlungen notwendig.

Die klinische Erfahrung zeigt aber, dass in etwa einem Drittel der Fälle auch nach sehr häufigen Behandlungen keine vollständige Entfernung der Tätowierungen gelingt. Die Erfolgsquoten sind individuell sehr unterschiedlich und im Einzelfall schwer vorherzusehen (6).

Einige Faktoren, die bei der Einschätzung der Erfolgsaussichten hilfreich sein können, wurden von *Bencini* publiziert (7). Hiernach sprechen vor allem farbige (besonders grüne und gelbe), große (> 30 cm²) und farbtintensive Tattoos schlechter an, ebenso Tattoos an den Extremitäten und ältere (> 36 Monate alt) sowie in zu kurzen Abständen behandelte (< 8 Wochen). Ein sehr interessantes Ergebnis war, dass bei Rauchern im Durchschnitt nach 10 Behandlungen etwa 70% schlechtere Ergebnisse erzielt wurden, was mit der durch Nikotin verschlechterten Makrophagenaktivität erklärt wird.

Darüber hinaus ist der Erfolg der Tätowierungsentfernung von der Eindringtiefe, der maximal möglichen Energiedichte und der maximal möglichen Spotgröße des Laserstrahls abhängig (8).

Besonders gut lassen sich schwarze und rote Tätowierungen entfernen,



Abb. 2a und b: Vollständige Entfernung eines Permanent Make-Ups der Augenbrauen (schwarz) nach 12 Sitzungen mit dem gütegeschalteten 1.064-nm-Nd:YAG-Laser ohne Haarverlust



Abb. 3a und b: Vollständige Entfernung einer professionellen schwarzen Tätowierung nach 25 Sitzungen mit dem gütegeschalteten 1.064-nm-Nd:YAG-Laser und diskreten Hypopigmentierungen. b) Nahaufnahme

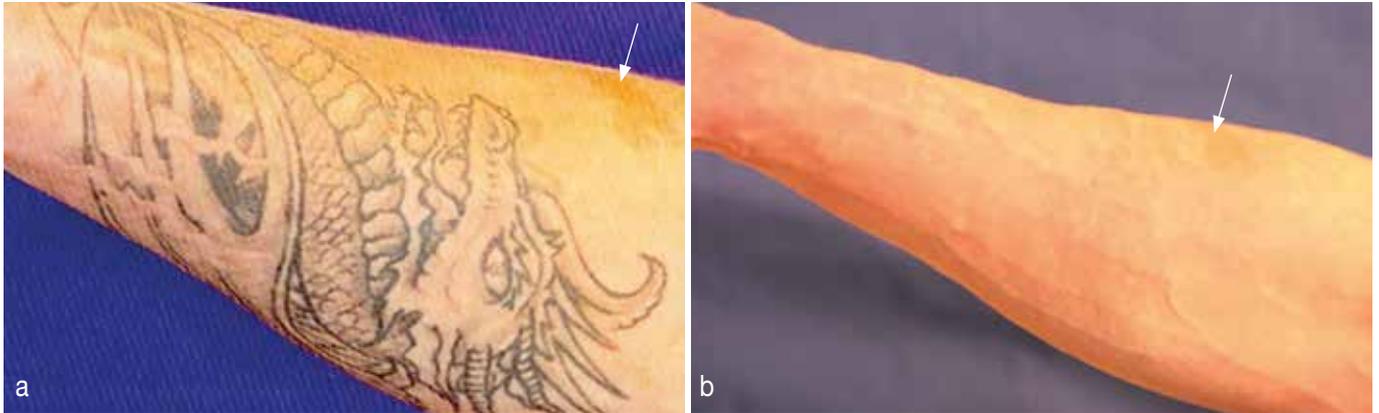


Abb. 4a und b: Komplettentfernung einer professionellen Tätowierung nach 26 Behandlungen mit dem gütegeschalteten 1.064-nm-Nd:YAG-Laser (Referenzpunkt: Café-au-Lait-Fleck rechts)

grüne und blaue schwieriger und Farben, die sich schwer beziehungsweise gar nicht entfernen lassen sind gelb, orange, violett und weiß (3).

Es muss mit den Patienten besprochen werden, dass besonders im Falle einer professionellen Tätowierung viel Zeit eingeplant werden muss (in der Regel 2–3 Jahre), da die Pause zwischen zwei Sitzungen mindestens sechs, besser acht Wochen oder länger betragen sollte (9–12). Wenn bei der prätherapeutischen Einschätzung ein schlechtes Ansprechen vermutet wird, sollte von einer Behandlung Abstand genommen werden (9, 13).

Praktisches Vorgehen

Bei der Laserbehandlung auftretende Schmerzen können durch das vorherige Auftragen einer anästhesierenden Creme (z.B. EMLA®-Creme oder einer Lidocain-/Prilocain-haltigen Magistralrezeptur) deutlich reduziert werden. Aufgrund dieser Tatsache kann auf eine Lokalanästhesie verzichtet werden, zumal der Schmerz dann als Warnsignal entfällt und nicht mehr auf eine eventuelle Fehleinstellung oder Fehlfunktion des Lasergeräts hinweisen kann.

Die geplante Energiedichte sollte mit dem dafür möglichen maximalen Strahldurchmesser appliziert werden. Dies erhöht die Eindringtiefe und minimiert Streuverluste (8).

Die Wahl der Wellenlänge orientiert sich an der Farbe des zu behandelnden Pigments (3):

- qs-KTP-Nd:YAG-Laser (532 nm) für rot, orange, braun,
- qs-Rubinlaser (694 nm) für schwarz, blau, grün, braun,
- qs-Alexandritlaser (755 nm) für schwarz, blau, grün, braun,
- qs-Nd:YAG-Laser (1.064 nm) für schwarz, blau.

Während der Behandlung sollte das Handstück senkrecht gehalten werden, um eine Reduktion der Energiedichte durch ovale Deformation des auftretenden Laserstrahls zu vermeiden. Überlappungen der Spots sollten minimal sein.

Bei Applikation des Pulses entsteht bei korrekter Energiedichte das temporäre »whitening« durch rapide lokale Erhitzung des Pigments mit Gas- oder Plasmapbildung und nachfolgender dermaler und epidermaler Vakuolisierung (3). Dies ist streng von einer akuten thermischen Nekrose zu unterscheiden, die bei deutlich zu hohen applizierten Energiedichten auftreten kann und zu permanenten Vernarbungen führt. Harmlose Punktblutungen können insbesondere beim qs-KTP-Nd:YAG-Laser auftreten.

Posttherapeutische urtikarielle Veränderungen in den gelaserten Bereichen erscheinen regelmäßig, sind jedoch nicht Zeichen einer allergischen Re-

aktion, sondern deuten auf eine posttraumatische Histaminliberation hin (8). Sie verschwinden nach einigen Stunden. Krusten oder Blasen können innerhalb von ein bis zwei Tagen nach der Behandlung auftreten und sind als normale Begleitreaktionen zu werten.

Nach der Behandlung kann je nach Hautreaktion optional ein antiseptischer Wundverband erfolgen, die meisten unserer Patienten kühlen lediglich. In den posttherapeutischen Wochen ist ein konsequenter Sonnenschutz wichtig.

Begleitreaktionen und ihr Management

Generell ist zu sagen, dass aus medizinischer Sicht insbesondere aufgrund der potenziellen Toxizität nicht zertifizierter Tattoofarben und der chemischen Alteration dieser durch eine eventuelle spätere Lasertherapie prinzipiell von Tätowierungen abzuraten ist (14, 15).

Die häufigste Begleiterscheinung bei der Lasertherapie von Tattoos ist die Hypopigmentierung. Diese ist vor allem bei den Lasersystemen mit kürzeren Wellenlängen zu beobachten (Rubin-, Alexandrit- und KTP-Nd:YAG-Laser). Diese kann bis zu sechs Monate persistieren (16). Der größte Risikofaktor hierfür ist die sonnengebräunte oder von Natur aus stärker pigmentier-



Abb. 5: Allergische Spättypreaktion auf rotes Tätowierungspigment a) am Unterschenkel mit Streuung in die Umgebung und b) hämatogener Streuung auf die Handrücken infolge der Lasertherapie



Abb. 6: Superfiziell spreitendes Melanom, TD 0,45 mm, Clark Level 2, im Randbereich einer Tätowierung

te (Hauttypen ab IV) Haut. Diese sollte mit den oben angegebenen Lasersystemen nicht behandelt werden. Sollten die Hypopigmentierungen persistieren, kann eine Repigmentierung durch den Excimerlaser versucht werden (17).

Hyperpigmentierungen entstehen zu meist bei dunkleren Hauttypen und bei intensiver Sonnenexposition. Diese sollte in den Wochen nach der Behandlung unbedingt vermieden werden. Falls die Hyperpigmentierungen per-

sistieren, kann in der sonnenarmen Jahreszeit eine Behandlung mit Rubin-/Alexandritlaser oder mit der fraktionierten Lasertherapie versucht werden (18).

Vor allem bei der Behandlung von Permanent-Make-up kann es zum Farbumschlag (»ink darkening«) kommen. Dieser entsteht durch eine chemische Reaktion der Farbpigmente bei starker Erhitzung durch den Laserimpuls. Besonders bei roten oder braunen, aber auch bei hautfarbenen Pigmenten ist dies zu beobachten und führt zu einer dunklen Umfärbung. Über dieses Phänomen sollte unbedingt aufgeklärt werden. Auch punktuelle Probebehandlungen können klären, ob diese Begleitreaktion zu erwarten ist. Falls ein Farbumschlag auftritt, kann dieser wie eine entsprechende dunkle Tätowierung weiterbehandelt und letztendlich in den meisten Fällen entfernt werden (19).

Bei einer lege artis durchgeführten Tätowierungsentfernung sollten Narben nicht auftreten. Wenn doch, ist dies meist ein Zeichen für zu hohe Energiedichten, zu dunkle Hauttypen oder falsche Impulsdauer (Abb. 11). Bei der Anwendung langgepulster Laser oder von »Intense Pulsed Light« (IPL)-Geräten zur Tätowierungsentfernung entstehen zwangsläufig Verbrennungen, da die kleinen Zielchromophoren mit ihrer sehr geringen thermischen Relaxationszeit die Energie an das umliegende Gewebe abgeben (Abb. 10).

Zu Beginn der Behandlung sollte die Energiedichte defensiv gewählt werden und erst im Verlauf der Behandlung langsam und entsprechend der Hautreaktion und der Anamnese gesteigert werden, insbesondere auch, da spätere Behandlungen mehr von erhöhten Energiedichten profitieren, als initiale (20). Vor allem der Bräunungsgrad der Haut sollte bei kürzerwelligen Lasern berücksichtigt werden.

Allergische Reaktionen auf Tätowierungen können versuchsweise mit lokalen Steroiden behandelt werden.

Hierbei ist von einer Behandlung durch gütegeschaltete Laser dringend abzuraten, da eine hämatogene Streuung möglich ist, die das Beschwerdebild exazerbieren und generalisieren lässt (Abb. 5). Gelegentlich werden auch lichenoiden und pseudolymphomatösen Reaktionen nach Lasertherapie beobachtet, vor allem auf rote Tattoo-Pigmente (21).

Besonders wichtig ist die korrekte Einschätzung der Dignität von bestehenden, vor allem pigmentierten Hautveränderungen. Beispielsweise sollten insbesondere Nävuszellnävi auf keinen Fall mit gütegeschalteten Lasern behandelt werden, um Pseudomelanome oder andere problematische melanozytäre Veränderungen zu vermeiden (22, 23).

Darüber hinaus können auch Hauterkrankungen innerhalb von Tätowierungen bereits bestehen oder neu auftreten oder durch die Farbpigmente induziert werden, wie zum Beispiel granulomatöse Entzündungsreaktionen, Pseudolymphome, Koebner-Phänomen-assoziierte lokale Exazerbationen einer Psoriasis oder eines Lichen ruber, Allergien (Abb. 5 u. 8) und sogar maligne Tumoren der Haut (24), welche im Idealfall im Frühstadium von lasererfahrenen Dermatologen diagnostiziert werden können (Abb. 6).

»Pitfalls«

Die Anwendung von gütegeschalteten Lasern ist heutzutage bei richtiger Vorgehensweise sicher, effektiv und mit hoher Patientenzufriedenheit verbunden (25). Es sollten nur Tätowierungen behandelt werden, bei denen aufgrund der Farbsituation eine vollständige Entfernung zu erwarten ist. Hierfür sind zum einen eine fachliche Expertise als auch eine ethische Grundhaltung die essenziellen Voraussetzungen.

Fehler resultieren aus der inkorrekten Auswahl der Wellenlänge und der Energiedichte, wenn die erforderlichen physikalischen und medizinischen



Abb. 7: Keloidbildung nach Injektion von Tattoo-Erase® (Milchsäure) zur Entfernung einer Tätowierung



Abb. 8: Lichenoiden und pseudolymphomatöse Reaktion (histologisch bestätigt) ohne granulomatöse Veränderungen nach Einbringen eines Permanent-Make-ups am Lippenrand. Das typische Bild einer kontaktallergischen ekzematösen Reaktion liegt nicht vor (21)

Kenntnisse des Laseranwenders den Anforderungen nicht genügen (Abb. 10–13). Zur Dokumentation des Behandlungserfolgs und bereits vor der Lasertherapie durch das Einbringen der Tätowierung entstandener Schäden ist eine Fotodokumentation zu Beginn der Lasertherapie aus forensischen Gründen essenziell.

Die anfänglichen hohen Erwartungen an die neuen Pikosekundenlaser, dass alle, auch mehrfarbige Tätowierungen

in nur wenigen Sitzungen vollständig und zudem narbenlos zu entfernen sind, konnten sich leider in der Realität nicht bestätigen. Es werden weiterhin zahlreiche Sitzungen bis zur kompletten Entfernung von Profitätowierungen benötigt. Aufgrund des erhöhten Erwartungsdrucks werden zur Umgehung dieser Tatsache mitunter zu hohe Energiedichten verwendet, die dann doch zu Hypopigmentierungen (»Negativbild« der Tätowierung) und Narben führen (5, 9).

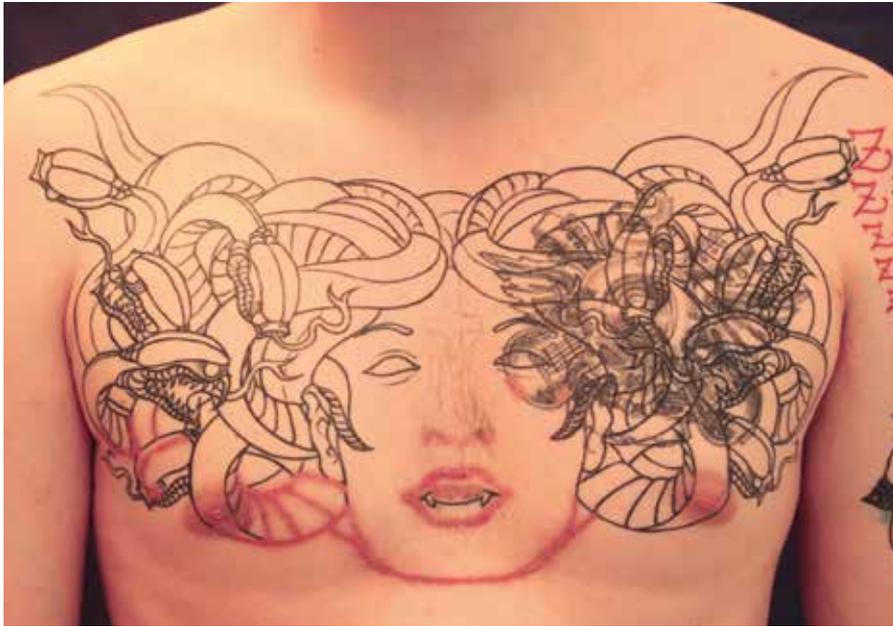


Abb. 9: Hypertrophe Narbenbildung nach Applikation des »Magic Pen®« (40% Milchsäure) zur Tätowierungsentfernung



Abb. 10: Verbrennungen durch IPL-Technologie nach Behandlung einer Tätowierung in einem Kosmetikinstitut

Die Tätowierungsentfernung sollte möglichst in lasererfahrenen dermatologischen Zentren und nicht in Laienstudios durchgeführt werden, um die Nebenwirkungen zu minimieren und um eine professionell durchgeführte Aufhellung zu erreichen. Zudem ist bei Behandlung durch einen Arzt in jedem Fall ein versicherungsrechtlicher Schutz für den Patienten gewährleistet oder es kann die Gutachterstelle für »Fragen Ärztlicher Haftung« bei der

zuständigen Ärztekammer angerufen werden (22, 23).

Die richtigen Lasereinstellungen (Wellenlänge, Energiedichte und Pulslänge) und die genaue Energiedosis zu finden, Nebenwirkungen zu kennen und einschätzen zu können oder auch von einer Laserbehandlung bei einer nicht zu erwartenden Effektivität abzuraten, bedarf einer großen Erfahrung, einer ehrlichen ethischen Grundhaltung und ei-

ner dermatologischen sowie laserchirurgischen Kompetenz.

Optimierungsmöglichkeiten

Nach der R-20-Methode führten *Kossida et al.* (26) wiederholte Behandlungen (insgesamt 4) im Abstand von 20 Minuten mit deutlich besseren Ergebnissen im Vergleich zu einer einfachen Sitzung durch. Sofern nur eine Wiederholung und nicht, wie ursprünglich publiziert, vier Wiederholungen durchgeführt werden, treten in der Publikation von *Drosner et al.* (27) keine vermehrten Begleitreaktionen und Nebenwirkungen bei besserer Clearance im Vergleich zu einer Einzelbehandlung auf. Wir gehen empirisch von einer gesteigerten Clearance von zirka 15–20% aus und empfehlen unseren Patienten, analog zur Arbeit von *Drosner et al.* eine sogenannte Doppelsitzung (2 Durchgänge im Abstand von 20 Minuten).

Optimierung durch Kombination unterschiedlicher gütegeschalteter Laser in Verbindung mit der R-20-Methode: Im Zuge der Tätowierungsentfernung können gütegeschaltete Laser an therapeutische Grenzen stoßen, weshalb unserer Erfahrung nach insbesondere bei schwarzen, blauen und grünen Tätowierungen die Kombination aus 1.064-nm-Nd:YAG-Laser und Rubinlaser eine Optimierung der Ergebnisse liefert. Durch die Kombination dieser Lasertypen mit einem zeitlichen Abstand von etwa 20 Minuten können Farbpartikel mit unterschiedlichen Absorptionseigenschaften erreicht und getroffen werden. Dies kann sinnvoll sein, wenn Tätowierungsfarben mit unterschiedlich farbigen Pigmenten in die Haut eingebracht wurden, was häufig auch bei einfarbigen Tätowierungen der Fall ist.

Sollten mehrere Farben vorhanden sein, wird mit der Wellenlänge behandelt, die nach der Theorie der selektiven Photothermolyse (28) das Tätowierungspigment am wirkungsvollsten zerstört.

Bei schwarzen Tätowierungen besteht keine Überlegenheit des Pikosekundenlasers (PSL) gegenüber dem konventionellen Nanosekundenlaser (NSL) (9). Dieser zeigte in einer randomisierten, einfach verblindeten klinischen Studie, die von unserer Arbeitsgruppe durchgeführt wurde, statistisch signifikant die gleiche Clearance wie der konventionelle NSL. Einige Studien hatten initial bereits nach ein bis vier Sitzungen von einem sehr schnellen, annähernd kompletten Abbau der Pigmente berichtet (10, 29–31).

Bei genauer objektiver Betrachtung kann man auf zahlreichen Abbildungen der oben genannten PSL-Studien permanente Nebenwirkungen erkennen. In diesen vier Publikationen werden insgesamt 14 Vorher-Nachher-Fälle als Abbildungen gezeigt. Keine Tätowierung wurde komplett entfernt, in 7 dieser 14 Fälle waren Narben und/oder Hypo- beziehungsweise Hyperpigmentierungen sichtbar.

Wahrscheinlich können mit Pikosekundenlasern, die mit deutlich kürzeren Impulsdauern arbeiten, für die Zukunft betrachtet bessere Ergebnisse erzielt werden. Dies konnte in Bezug auf den Alexandritlaser, insbesondere für grüne Tätowierungen, bereits realisiert werden, da die gängigen NSL im Vergleich zu den aktuellen PSL mit deutlich längeren Impulszeiten arbeiten.

Das Perfluorodecalin-haltige Silikonpatch soll transiente Begleitreaktion wie das »whitening« der Haut, die Schwellung und Hitzeschäden der Epidermis vermindern. Somit sind laut *Biesman et al.* (32) höhere Energiedichten mit höherer Effektivität applizierbar. Allerdings sind in vier der sieben gezeigten Vorher-Nachher-Fälle diskrete Narben beziehungsweise Hypopigmentierungen zu erkennen. Die deutlich erhöhten Kosten für diese Behandlung (ca. 60 Euro für ein nur ein einziges Mal zu verwendendes Patch mit einer Behandlungsfläche von maximal 48 cm²) im Vergleich zu den Vor-



Abb. 11a und b: Zustand nach zwei Sitzungen Nd:YAG-Laser (Q-SKIN Lasersystem) zur Tätowierungsbehandlung und deutliche Keloidbildung. Fehler: Zu hohe Energiedichte



Abb. 12: Narben nach Rubinlaserbehandlung durch medizinische Laien. Fehler: zu hohe Energiedichte



Abb. 13: Keloide nach Entfernung von Tätowierungen mit dem CO₂-Laser. Fehler: Falscher Lasertyp



Abb. 14a und b: a) Zustand nach versuchter Behandlung in einem Kosmetikstudio mittels Säureinjektion (sog. »Oxford SkinCenter«-Methode) mit Ausbildung von Keloiden. b) Zustand nach 20 Laserbehandlungen (Kombination aus qs-Nd:YAG-Laser und qs-Rubinlaser)



teilen für den Patienten wurden bisher nicht an größeren Kohorten untersucht, sondern bislang nur in der oben angegebenen kleinen Fallsammlung publiziert. Möglicherweise ist auch das Perfluorodecalin-haltige Silikonpatch aus ökologischen Gründen kritisch zu sehen. Die Kosten-Nutzen-Relation ist bislang noch nicht geklärt.

Der Kombination von gütegeschalteten Lasern und fraktionierten Lasern wird eine höhere Wirksamkeit mit sogar etwas weniger Nebenwirkungen als die Behandlung mit gütegeschalteten Lasern allein zugeschrieben (33–35).

Hinsichtlich der Blasenbildung wurde eine experimentelle Studie publiziert, die eine geringere Blasenbildung auf der Kombinationsseite (CO₂ und qs-Al-

exandritlaser) zeigte (35), was durch mikroskopisch kleine Kanäle, die durch den CO₂-Laser entstehen, zu erklären ist. Somit kommt es zu einer Drainage der Exsudatflüssigkeit und das dermale Ödem verringert sich.

Ein weiterer Ansatz ist die Entwicklung von Tätowierungsfarben, die per se eine leichtere und effektivere Entfernung mittels Lasers unterstützen. Dies ist aktuell Gegenstand klinischer Studien (36).

Fazit

Das Ziel der Tätowierungsentfernung durch Laser liegt unserer Meinung nach nicht in einer möglichst kurzen Therapiezeit, sondern einer ehrlichen Aufklärung und einer professionellen,

möglichst nebenwirkungsarmen, vollständigen Entfernung der Tattoos und der Vermeidung von bleibenden Spätfolgen. Die Behandlung sollte unbedingt von lasererfahrenen Dermatologen und nicht durch Laien erfolgen.

Literatur

1. 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
2. Reid WH, McLeod PJ, Ritchie A, Ferguson-Pell M (1983): Q-switched Ruby laser treatment of black tattoos. *Br J Plast Surg* 36 (4), 455–459
3. Pfirrmann G, Karsai S, Roos S, Hammes S, Raulin C (2007): Tattoo removal – state of the art. *J Dtsch Dermatol Ges* 5 (10), 889–897
4. Karsai S, Bäuml W, Raulin C (2016): Laser tattoo removal: is there light at the end of the tunnel or is it just the light of an oncoming train? *Br J Dermatol* 175 (6), 1338–1339

5. Pohl L, Kaiser K, Raulin C (2013): Pitfalls and recommendations in cases of laser removal of decorative tattoos with pigmented lesions: case report and review of the literature. *JAMA Dermatol* 149 (9), 1087–1089
6. Bäumler W, Eibler ET, Hohenleutner U, Sens B, Sauer J, Landthaler M (2000) Q-switch laser and tattoo pigments: first results of the chemical and photophysical analysis of 41 compounds. *Lasers Surg Med* 26 (1), 13–21
7. Bencini PL, Cazzaniga S, Tournalaki A, Galimberti MG, Naldi L (2012): Removal of tattoos by q-switched laser: variables influencing outcome and sequelae in a large cohort of treated patients. *Arch Dermatol* 148 (12), 1364–1369
8. Karsai S, Pfirrmann G, Hammes S, Raulin C (2008): Treatment of resistant tattoos using a new generation Q-switched Nd:YAG laser: influence of beam profile and spot size on clearance success. *Lasers Surg Med* 40 (2), 139–145
9. Pinto F, Große-Büning S, Karsai S, Weiß C, Bäumler W, Hammes S, Felcht M, Raulin C (2017): Neodymium-doped yttrium aluminium garnet (Nd:YAG) 1064-nm picosecond laser vs. Nd:YAG 1064-nm nanosecond laser in tattoo removal: a randomized controlled single-blind clinical trial. *Br J Dermatol* 176 (2), 457–464
10. Bernstein EF, Schomacker KT, Basilavacchio LD, Plugis JM, Bhawalkar JD (2015): A novel dual-wavelength, Nd:YAG, picosecond-domain laser safely and effectively removes multicolor tattoos. *Lasers Surg Med* Jul 14. Epub ahead of print
11. Mankowska A, Kasprzak W, Adamski Z (2015): Long-term evaluation of ink clearance in tattoos with different color intensity using the 1064-nm Q-switched Nd:YAG laser. *J Cosmet Dermatol* 14 (4), 302–309
12. Izikson L, Farinelli W, Sakamoto F, Tannous Z, Anderson RR (2010): Safety and effectiveness of black tattoo clearance in a pig model after a single treatment with a novel 758 nm 500 picosecond laser: a pilot study. *Lasers Surg Med* 42 (7), 640–646
13. Karsai S (2017): Removal of Tattoos by Q-Switched Nanosecond Lasers. *Curr Probl Dermatol* 52, 105–112
14. Klügl I, Hiller KA, Landthaler M, Bäumler W (2010): Incidence of health problems associated with tattooed skin: a nation-wide survey in German-speaking countries. *Dermatol Basel Switz* 221 (1), 43–50
15. Laux P, Tralau T, Tentschert J, Blume A, Dahouk SA, Bäumler W, Bernstein E, Bocca B, Alimonti A, Colebrook H, de Cuype C, Dähne L, Hauri U, Howard PC, Janssen P, Katz L, Klitzman B, Kluger N, Krutak L, Platzeck T, Scott-Lang V, Serup J, Teubner W, Schreiber I, Wilkniß E, Luch A (2016): A medical-toxicological view of tattooing. *Lancet Lond Engl* 387 (10016), 395–402
16. Leuenberger ML, Mulas MW, Hata TR, Goldman MP, Fitzpatrick RE, Grevelink JM (1999): Comparison of the Q-switched alexandrite, Nd:YAG, and ruby lasers in treating blue-black tattoos. *Dermatol Surg* 25 (1), 10–14
17. Gundogan C, Greve B, Hausser I, Raulin C (2004): Repigmentation of persistent laser-induced hypopigmentation after tattoo ablation with the excimer laser. *Hautarzt* 55 (6), 549–552
18. Schmitt L, Raulin C, Karsai S (2009): Fractional photothermolysis. Treatment of post-inflammatory hyperpigmentation following meadow grass dermatitis. *Hautarzt* 60 (7), 573–577
19. Anderson RR, Geronemus R, Kilmer SL, Farinelli W, Fitzpatrick RE (1993): Cosmetic tattoo ink darkening. A complication of Q-switched and pulsed-laser treatment. *Arch Dermatol* 129 (8), 1010–1014
20. Humphries A, Lister TS, Wright PA, Hughes MP (2013): Finite element analysis of thermal and acoustic processes during laser tattoo removal. *Lasers Surg Med* 45 (2), 108–115
21. Plaza T, Kempf W (2010): Lichenoid und pseudolymphomatöse Reaktion auf rotes Permanent-Tattoo »Schweizerkreuz«. *Akt Dermatol* 36 (10), 374–376
22. Karsai S, Krieger G, Raulin C (2010): Tattoo removal by non-professionals – medical and forensic considerations. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 24 (7), 756–762
23. Fusade T, Mordon SR (2011): Tattoo removal by non-physicians: considerations about the state of legislation in France. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 25 (2), 239–240
24. Hammes S, Raulin C, Karsai S, Bernt R, Ockenfels HM (2008): Treating papillomatous intradermal nevi: lasers – yes or no? A prospective study. *Hautarzt* 59 (2), 101–107
25. Hutton Carlsen K, Esmann J, Serup J (2017): Tattoo removal by Q-switched yttrium aluminium garnet laser: client satisfaction. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 31 (5), 904–909
26. Kossida T, Rigopoulos D, Katsambas A, Anderson RR (2012): Optimal tattoo removal in a single laser session based on the method of repeated exposures. *J Am Acad Dermatol* 66 (2), 271–277
27. Drosner M, Trennheuser L (2013): Mehrfachbehandlung von Tätowierungen – bessere Aufhellung bei höherem Nebenwirkungsrisiko? *Akt Dermatol* 39 (07), 283–287
28. Anderson RR, Parrish JA (1983): Selective photothermolysis: precise microsurgery by selective absorption of pulsed radiation. *Science* 220 (4596), 524–527
29. Brauer JA, Reddy KK, Anolik R, Weiss ET, Karen JK, Hale EK, Brightman LA, Bernstein L, Geronemus RG (2012): Successful and rapid treatment of blue and green tattoo pigment with a novel picosecond laser. *Arch Dermatol* 148 (7), 820–823
30. Saedi N, Metelitsa A, Petrelli K, Arndt KA, Dover JS (2012): Treatment of tattoos with a picosecond alexandrite laser: a prospective trial. *Arch Dermatol* 148 (12), 1360–1363
31. Alabdulrazzaq H, Brauer JA, Bae YS, Geronemus RG (2015): Clearance of yellow tattoo ink with a novel 532-nm picosecond laser. *Lasers Surg Med* 47 (4), 285–288
32. Biesman BS, O’Neil MP, Costner C (2015): Rapid, high-fluence multi-pass q-switched laser treatment of tattoos with a transparent perfluorodecalin-infused patch: A pilot study. *Lasers Surg Med* 47 (8), 613–618
33. Radmanesh M, Rafiei Z (2015): Combination of CO₂ and Q-switched Nd:YAG lasers is more effective than Q-switched Nd:YAG laser alone for eyebrow tattoo removal. *J Cosmet Laser Ther* 17 (2), 65–68
34. Sardana K, Garg VK, Bansal S, Goel K (2013): A promising split-lesion technique for rapid tattoo removal using a novel sequential approach of a single sitting of pulsed CO₂ followed by Q-switched Nd: YAG laser (1064 nm). *J Cosmet Dermatol* 12 (4), 296–305
35. Au S, Liolios AM, Goldman MP (2015): Analysis of incidence of bulla formation after tattoo treatment using the combination of the picosecond Alexandrite laser and fractionated CO₂ ablation. *Dermatol Surg* 41 (2), 242–245
36. Naga LI, Alster TS (2017): Laser Tattoo Removal: An Update. *Am J Clin Dermatol* 18 (1), 59–65

Anschrift für die Verfasser:
 Prof. Dr. med. Christian Raulin
 MVZ Dres. Raulin und Kollegen GbR
 Kaiserstraße 104
 76133 Karlsruhe
 E-Mail info@raulin.de