

1/2019 Februar

C 14118

derm

Praktische Dermatologie



omnimed
www.omnimedonline.de

Entfernung von Laientätowierungen nach der R20-Methode durch eine Kombination aus gütegeschaltetem Nd:YAG- und Rubinlaser



Tufan Khoschbin¹, Christian Raulin²

Summary

Due to the increase in tattoos in our society, the demand for methods for removal of such body decorations is also increasing. The laser medicine has evolved significantly on this. There are painless treatment pathways available with low side effect. In this article, we describe the process of removing a tattoo on the basis of a patient example with the R20-method and discuss the possibilities, problems and limitations of the therapy.

Keywords

Tattoo removal, Nd:YAG-Laser, R20-method, ruby laser.

Zusammenfassung

Aufgrund der Zunahme von Tätowierungen in unserer Gesellschaft erhöht

¹ Facharzt für Chirurgie, Phlebologie und Notfallmedizin, Forst

² Fachpraxis für Dermatologie, Allergologie, Phlebologie, Lasertherapie, Ästhetisch-kosmetische Dermatologie, Karlsruhe

sich auch die Nachfrage an Methoden zur Entfernung solcher Schmucktattoos. Die Laser-Medizin hat sich auf diesem Gebiet deutlich weiterentwickelt. Es stehen schmerz- und nebenwirkungsarme Behandlungspfade zur Verfügung. Wir stellen in diesem Artikel den Verlauf der Entfernung einer Laientätowierung anhand eines Patientenbeispiels mit der R20-Methode dar und gehen auf die Möglichkeiten, Probleme und Grenzen der Therapie ein.

Schlüsselwörter

Tattooentfernung, Nd:YAG-Laser, R20-Methode, Rubinlaser.

Anamnese

Im April 2017 stellte sich ein 80-jähriger Patient mit dem Wunsch vor, seine Tätowierungen an beiden Unterarmen sowie auf dem linken Handrücken entfernen zu lassen. Die Tätowierungen bestanden seit 70 Jahren und wurden von dem Patienten selbst mit Tusche gestochen. Nachdem er es sich viele Jahre überlegt hat, wollte er die Tätowierungen trotz seines fortgeschrittenen Alters entfernen lassen. Er befand sich in einem altersentsprechend guten Allgemeinzustand, eine Dauermedikation bestand nicht. Bis auf das mehrfache Auftreten von Basalzellkarzinomen in lichtexponierten Arealen in der Vergangenheit waren keine dermatologischen Erkrankungen bekannt.

Klinischer Befund

Es zeigten sich einfarbige schwarze Schmucktätowierungen im Bereich des linken Unterarms volar (Fisch – Abb. 1 u. 2) und dorsal (Herz – Abb. 3 u. 4). Das dritte Tattoo befand sich auf dem

linken Handrücken in Form einer sonnenartigen Strahlenformation (Abb. 5 u. 6). Ein viertes Tattoo befand sich am rechten Unterarm dorsal (Dolchspitze – Abb. 7 u. 8). Der Patient hat den Hauttyp II nach Fitzpatrick.

Therapie und Verlauf

Nach ausführlichem Patientengespräch über den Behandlungsablauf, Risiken und Nebenwirkungen sowie nach sorgfältiger Fotodokumentation des Ausgangsbefunds wurde die Laserbehandlung mit dem gütegeschalteten Nd: YAG-Laser (Wellenlänge 1.064 nm) der Firma Cynosure (RevLite®) nach der R20-Methode begonnen. Im Rahmen der R20-Methode (12, 13) wurde eine Laserbehandlung durchgeführt (1. Pass), danach erfolgte eine 20-minütige Pause, während der der Patient die zuvor behandelten Stellen mit »Cool Packs« kühlte. Im Anschluss daran erfolgte eine weitere Laserbehandlung (2. Pass). Wenn der Befund es zugelassen hat, wurde bereits bei dem zweiten Laserdurchgang die Energiedichte moderat erhöht. Die Doppelsitzungen wurden in einem zeitlichen Mindestabstand von sechs Wochen durchgeführt. Die Impulsdauer des eingesetzten gütegeschalteten Nd:YAG-Lasers liegt bei 5 nsec.

Nach zwei nebenwirkungsfreien und gut vertragenen Doppelsitzungen setzten wir für den zweiten Pass einer Behandlung den gütegeschalteten Rubinlaser (Wellenlänge 694 nm) der Firma Alma Lasers GmbH ein. Dieser hat eine Impulslänge von 20 ns und Spotgrößen zwischen 3 und 6 mm. Nach dem zweiten Behandlungsdurchgang erfolgte erneut eine Kühlung der behandelten Areale mit »Cool Packs«. Die Häufigkeit der Behandlungen sowie

Tabelle 1

Behandlungsparameter			
Anzahl der Behandlungen	Datum der Behandlung	1. Pass: Laser, Energiedichte, Spotgröße	2. Pass: Laser, Energiedichte, Spotgröße/Abstandshalter
1	10.04.2017	Nd:YAG 1.064 nm; 1,5 J/cm ² ; 8 mm	Nd:YAG 1064nm; 2,0 J/cm ² ; 8 mm
2	22.05.2017	Nd:YAG 1.064 nm; 2,0 J/cm ² ; 8 mm	Nd:YAG 1.064 nm; 2,5 J/cm ² ; 8 mm
3	03.07.2017	Nd:YAG 1.064 nm; 2,5 J/cm ² ; 8 mm	Rubinlaser; 2,5 J/cm ² ; 6 mm
4	14.08.2017	Nd:YAG 1.064 nm; 3,2 J/cm ² ; 8 mm	Rubinlaser; 3,5 J/cm ² ; 5 mm
5	16.10.2017	Nd:YAG 1.064 nm; 3,2 J/cm ² ; 8 mm	Rubinlaser; 3,5 J/cm ² ; 5 mm
6	23.11.2017	Nd:YAG 1.064 nm; 3,2 J/cm ² ; 8 mm	Rubinlaser; 3,5 J/cm ² ; 5 mm
7	10.01.2018	Nd:YAG 1.064 nm; 3,2 J/cm ² ; 8 mm	Rubinlaser; 3,5 J/cm ² ; 5 mm

die verwendeten Parameter sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Zusammenfassend war der Patient mit dem Ergebnis sehr zufrieden, er wird sich für weitere Behandlungen bis zur kompletten Entfernung wieder bei uns vorstellen.

Behandlungsergebnisse

Die Abbildungen 1 bis 8 zeigen die Befunde vom Ausgangszustand bis zum Zustand nach sechs Laserbehandlungen.

Diskussion

Das Aufbringen von Tattoos als Schmuck, Ritual oder Symbol der Macht hat in vielen alten Kulturen eine lange und vielfältige Tradition. Vor kurzem fanden Forscher Tattoos von Tieren und anderen Motiven an zwei

natürlich mumifizierten Körpern aus Ägypten, die bereits vor 100 Jahren entdeckt wurden. Sie stammen aus einer Zeit zwischen 3.351 und 3.017 vor Christus und gelten somit als die bislang ältesten Tattoos der Welt (1).

Jeder fünfte Deutsche ist tätowiert. Die Lust an der Körpermodifikation nimmt vor allem bei Frauen und älteren Menschen zu. Laut einer Erhebung der Universität Leipzig aus dem Jahre 2017 sind rund die Hälfte aller Frauen zwischen 25 und 34 Jahren tätowiert. Das sind 19% mehr als noch im Jahr 2009. In der Gruppe der 35- bis 44-Jährigen gibt es – im Vergleich zu 2009 – 15% mehr Tattooträgerinnen.

Für die Studie der Universität Leipzig wurden im Herbst 2016 bundesweit 2.510 Männer und Frauen im Alter zwischen 14 und 94 Jahren befragt (2).

Dies bestätigt die Ergebnisse des Instituts für Demoskopie Allensbach aus

einer Befragung von 1.499 Personen ab 16 Jahren aus dem Jahr 2014 (Abb. 9–12) (25). Aus der Befragung geht hervor, dass ein Großteil der tätowierten Personen sich erneut tätowieren lassen würde (Abb. 10). Es wird deutlich, dass mehr Menschen aus Ostdeutschland tätowiert sind als Westdeutsche. Auch die Höhe des Schulabschlusses spielt bei der Häufigkeit von Tätowierungen eine Rolle (Abb. 12).

Im Gegenzug suchen auch vermehrt Menschen nach Möglichkeiten einer möglichst kompletten Entfernung der oftmals laienhaft eingebrachten Tätowierungen (3). Es wird geschätzt, dass etwa 6% der Menschen zirka 10–15 Jahre nach Aufbringen der Tätowierungen diese professionell entfernen lassen möchten (5).

Die Technologien zur Entfernung von Tätowierungen sind über die Jahre zunehmend verfeinert und verbessert worden.



Abb. 1: Vorheraufnahme April 2017

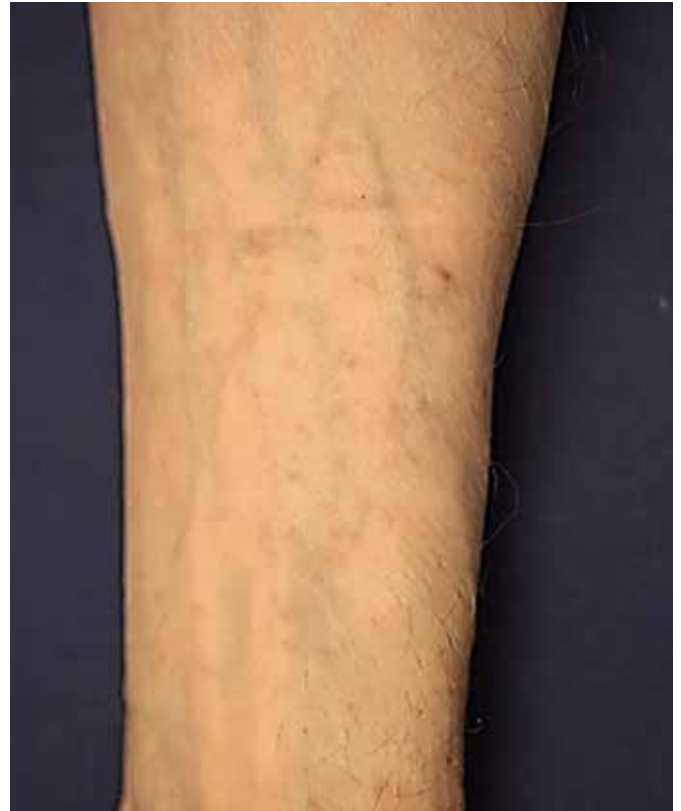


Abb. 2.: Aufnahme vor R20-Methode im Januar 2018 nach sechs Behandlungen (noch Restpigmente vorhanden)



Abb. 3: Vorheraufnahme April 2017



Abb. 4: Aufnahme vor R20-Methode im Januar 2018 nach sechs Behandlungen (noch Restpigmente vorhanden)



Abb. 5: Vorheraufnahme April 2017



Abb. 6: Januar 2018 nach sechs Behandlungen, vollständige Entfernung der Tätowierung



Abb. 7: Vorheraufnahme April 2017



Abb. 8: Januar 2018 nach sechs Behandlungen, vollständige Entfernung der Tätowierung

Vor dem Einsatz gütegeschalteter Lasersysteme wurden unspezifische Methoden wie Exzision, Kryotherapie, Dermabrasion, Salabrasion, Verätzung, Infrarotkoagulation und die Ablation mit

dem Argon- oder CO₂-Laser eingesetzt. Unter diesen Therapieformen kam es zu ästhetisch inakzeptablen, mehr oder weniger ausgeprägten Narben. Häufig verblieben Restpigmente in der Haut (4).

Wirkweise und Lasersysteme

Die Tätowierungsentfernung mittels Laser geht auf Experimente von Goldman et al. (9) aus dem Jahre 1963 zu-

rück. Diese wurden 1983 von Reid et al. (10) wieder aufgenommen. Seitdem hat sich die Technologie kontinuierlich weiterentwickelt. Verwendung finden vor allem der gütegeschaltete (»q-switched« [qs]) frequenzverdoppelte KTP-Nd:YAG-Laser (532 nm), der qs-Rubin- (694 nm), der qs-Alexandrit- (755 nm) und der qs-Nd:YAG-Laser (1.064 nm) (11). Die Impulslänge dieser Lasersysteme liegt im Nanosekunden- oder im oberen Picosekundenbereich.

Bei der Behandlung durch qs-Laser wird eine gezielte Zerstörung der Tattoo-Pigmente nach den Gesetzen der selektiven Photothermolyse erreicht. Darunter versteht man die lokalisierte thermische Zerstörung spezifischer Zielstrukturen durch Wahl einer bestimmten, selektiv absorbierten Wellenlänge und einer entsprechend kurzen Impulsdauer (6). Diese sollte dabei kürzer als die thermische Relaxationszeit sein. Dabei handelt es sich um die Zeit, in der sich die Zielstruktur auf die Hälfte der Ausgangstemperatur abkühlt. Theoretisch sollten möglichst kurze Pulszeiten beim Zerstören von Tatoo-partikeln effektiver sein als lange Pulszeiten, da die Größe eines Tatoo-pigmentpartikels allgemein zwischen 10 nm und 100 nm liegt. Dies erfordert gemäß den Prinzipien der selektiven Photothermolyse eine Impulsdauer im Nano- bis Picosekundenbereich (8).

Jahrzehntelang wurden Tätowierungen erfolgreich mit Nanosekunden-Pulsen entfernt (20). Mittlerweile sind sogenannte Picosekundenlaser zur Tattoorentfernung kommerziell erhältlich. Diese verfügen über Impulsdauern zwischen 350 ps und 900 ps. Ross et al. konnten in einer Studie aus dem Jahr 1998 zeigen, dass Impulse im Bereich von Picosekunden eine bessere Clearance bei schwarzen Tattoos aufweisen als Impulse im Nanosekunden-Bereich (23). Der damalige Laser hatte allerdings eine Impulslänge von 35 ps. Somit liegen die heute erhältlichen Geräte eher im Sub-Nanosekundenbereich.

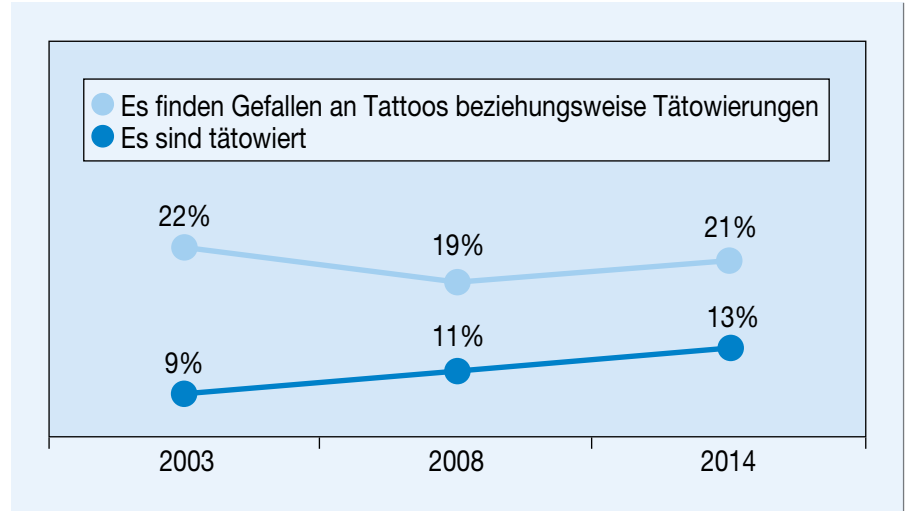


Abb. 9: Zunehmender Anteil von Personen mit Tätowierungen in der Bevölkerung (Quelle: Allensbacher Archiv, Ifd-Umfragen 7046, 10044 und 11024. Mit freundlicher Genehmigung des Instituts für Demoskopie Allensbach)

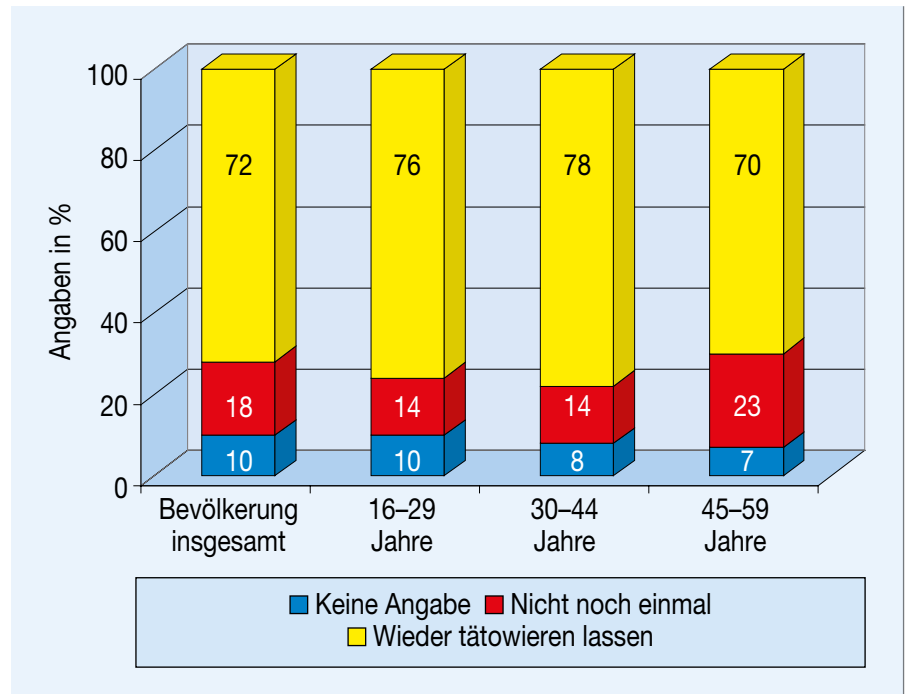


Abb. 10: Anteil von Personen, die sich wieder tätowieren lassen würden (Quelle: Allensbacher Archiv, Ifd-Umfrage 11024. Mit freundlicher Genehmigung des Instituts für Demoskopie Allensbach)

In einer Arbeit von Große-Büning et al. aus dem Jahr 2017 zeigte sich kein statistisch signifikanter oder klinisch relevanter Unterschied der Behandlungsergebnisse zwischen den heutzutage verfügbaren »Picosekundenlasern« und den Nanosekundenlasern. Der Benefit lag der Studie zufolge in einer niedrigeren Schmerzintensität (24).

Zur Optimierung der Behandlungsergebnisse führten Kossida et al. nach der sogenannten R20-Methode insgesamt vier repetitive Behandlungen im Abstand von 20 Minuten durch. Dabei konnten sie deutlich bessere Ergebnisse im Vergleich zu einer einfachen Sitzung erzielen (12). Der genaue Mechanismus für die bessere Wirksamkeit der R20-Methode ist noch nicht sicher

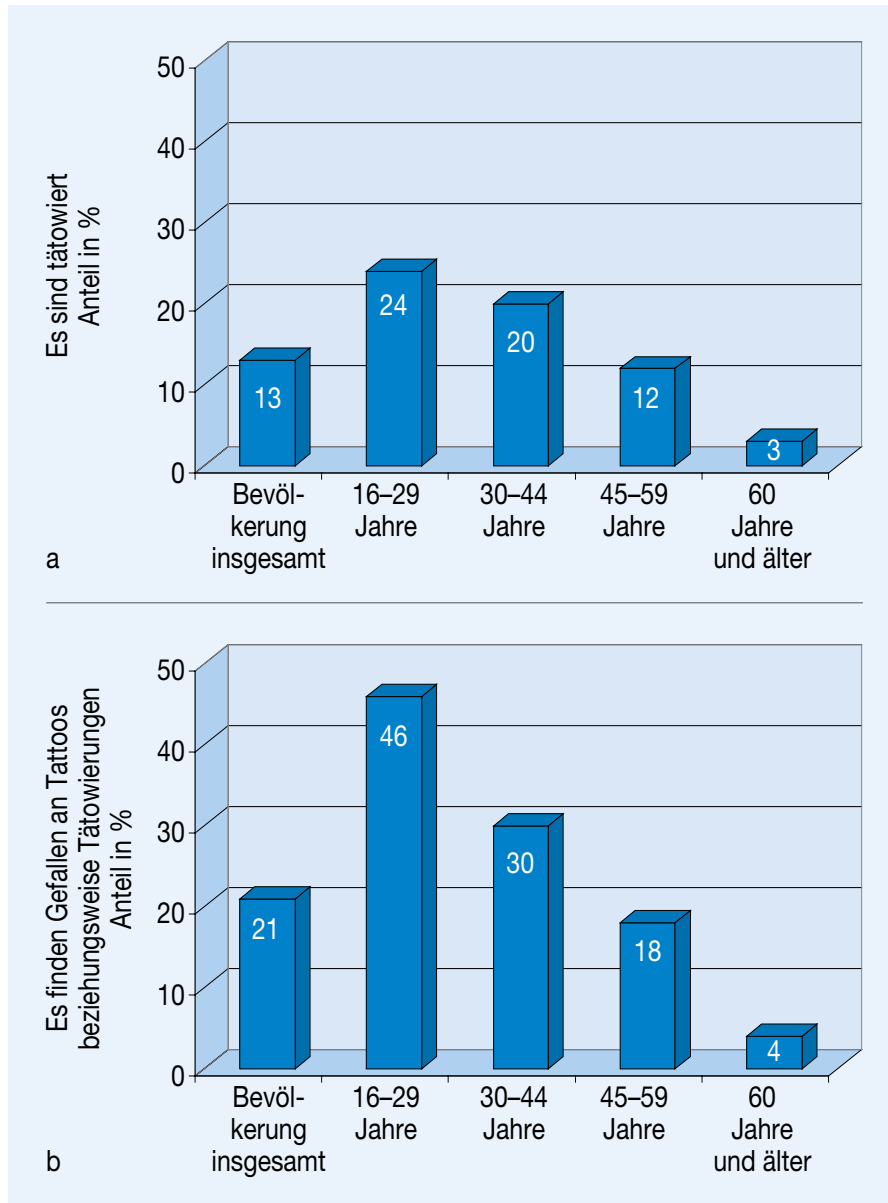


Abb. 11a und b: Anteil von Personen mit a) Tätowierungen und b) Personen, die Gefallen daran finden (Quelle: Allensbacher Archiv, Ifd-Umfrage 11024. Mit freundlicher Genehmigung des Instituts für Demoskopie Allensbach)

geklärt. Es kommt bei dieser Vorgehensweise zu stärkeren Reaktionen mit Tattoo pigmenten in der tiefen Dermis, also in 3–4 mm Tiefe. Es wird angenommen, dass dies mit der sofortigen Aufhellung (»Whitening«) nach einer Lasersitzung zusammenhängt.

Laserinduziertes »Whitening« aufgrund von Gasblasenbildung begrenzt das Eindringen von Laserlicht in die tiefere Dermis. Dies ist durch eine starke optische Streuung durch die Gasblasen zu erklären. Die oberflächlichen derma-

len Gasblasen lösen sich nach etwa 20 Minuten auf, sodass ein nachfolgender Impuls trotz laserinduziertem Ödem tiefer eindringen kann. Kossida et al. konnten in ihrer Arbeit beobachten, dass bei jedem nachfolgenden Laserdurchgang während der R20-Methode ein geringeres »Whitening« aufgetreten ist, sodass eine tiefere optische Penetration möglich war (12).

In einer Publikation von Drosner et al. wurde nur eine Wiederholung nach der R20-Methode durchgeführt. Dabei

zeigte sich eine bessere Clearance ohne vermehrte Begleiterscheinungen und Nebenwirkungen im Vergleich zu einer Einzelbehandlung (13). Nach unseren Erfahrungen gehen wir empirisch von einer gesteigerten Clearance von zirka 15–20% aus. Wir empfehlen Doppelsitzungen für eine Tattoorentfernung analog zur Arbeit von Drosner et al. Vorteile für den Patienten sind weniger Arztbesuche, eine schnellere Tattoorentfernung verbunden mit geringeren Gesamtkosten.

Eine weitere Optimierungsmöglichkeit für die Entfernung von Tätowierungen ist der Einsatz unterschiedlicher gütegeschalteter Laser, kombiniert mit der R20-Methode. Dadurch können Farbpartikel mit unterschiedlichen Absorptionseigenschaften effektiver entfernt werden.

Die Absorptionsmaxima der verschiedenen Farben wurden von Haedersdal et al. evaluiert und können der Tabelle 2 entnommen werden (7).

In unserem konkreten Fall mit schwarzen Tattoo pigmenten können mit einer Kombination aus Nd:YAG-Laser (1.064 nm) und Rubinlaser (694 nm) ansprechende Ergebnisse erreicht werden. Auch blaue und grüne Tätowierungen lassen sich mit dieser Kombination effektiv entfernen. Sollten mehrere Farben vorhanden sein, wird mit der Wellenlänge behandelt, die nach der Theorie der selektiven Photothermolyse (14) das Tätowierungspigment am wirkungsvollsten zerstört (11).

Grenzen der Tattoorentfernung durch Laser

Nicht jede Tätowierung lässt sich problemlos entfernen. Viele gelten sogar als therapieresistent. Es ist nicht selten, dass Restpigmente verbleiben, die weiteren Laserbehandlungen nicht zugänglich sind. Der Erfolg einer Tätowierungsentfernung mit dem Laser ist abhängig vom Pigmentgehalt, den Farben und deren chemischer Zusammensetzung sowie von der Lokalisation des Tattoos. Distal gelegene Tätow-

wierungen (z.B. Unterarme, Unterschenkel) lassen sich im Allgemeinen schlechter aufhellen. Eine Erklärung dafür könnten schlechtere Lymphabflussverhältnisse sein. Dadurch kommt es zu einem reduzierten Abtransport der Farbpigmente aus diesen Regionen (3).

Amateurtätowierungen sind einer Lasertherapie besser zugänglich als Profitätowierungen. Letztere weisen in der Regel einen höheren Gehalt an Farbpigmenten auf und lassen sich dadurch schlechter entfernen (15). In der Literatur finden sich Angaben von 4 bis 7 Sitzungen für die Entfernung von Laientattoos und 6 bis 15, in Einzelfällen 20 Sitzungen und mehr, für Profitättoos (16–19).

Ein weiterer Einflussfaktor für die Entfernung von Tätowierungen ist die Einbringungstiefe des Pigments.

In einer histologischen Studie von *Furgeson* et al. wurde berichtet, dass sich bis ins untere Korium eingebrachte Farbpigmente nicht vollständig mit dem Laser entfernen lassen und als Residuen in der Haut verbleiben (15). Besonders gut lassen sich schwarze und rote Tätowierungen entfernen.

Grüne und blaue Farben sind schon schwieriger zu entfernen. Farben, die sich schwer beziehungsweise gar nicht entfernen lassen, sind Mischfarben wie gelb, orange, violett, braun, hellblau und weiß (3, 20).

Zu den klassischen Tätowierungsfarbstoffen zählt Tusche, die hauptsächlich für Laientätowierungen benutzt wurde. Des Weiteren wurden früher Schwermetallverbindungen aus Quecksilber, Kadmium und Chrom verwendet. Heute werden von den Tätowierern neben den mineralischen Pigmenten Titandioxid und Eisenoxidhydrat überwiegend synthetische organische Farben wie Azofarbstoffe, Chinacridon und Phthalocyanin-Kupfer-Komplexe verwendet (3). Der Patient aus unserem Fallbeispiel hat für seine Tätowierungen Tusche verwendet.

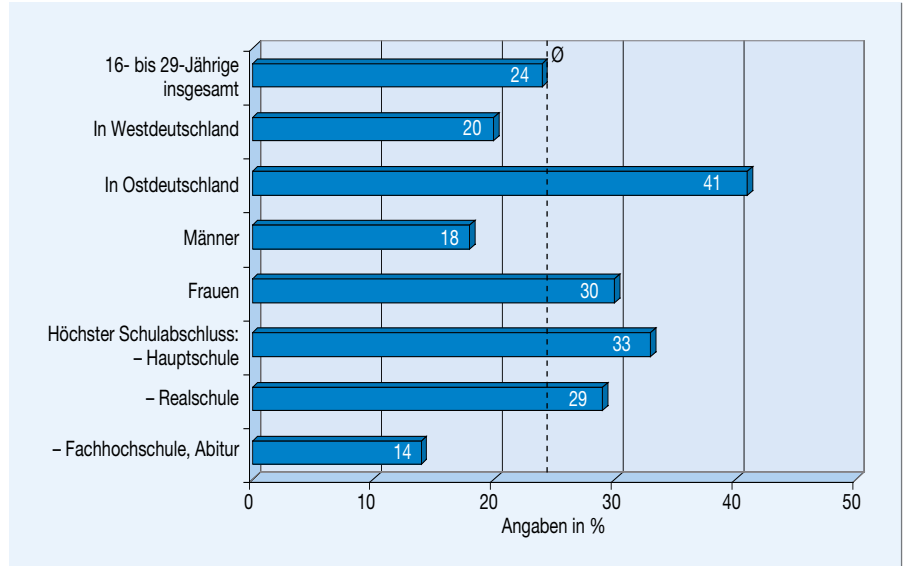


Abb. 12: Wer in der jüngeren Generation (16- bis 29-Jährige) besonders häufig Tätowierungen trägt (Quelle: Allensbacher Archiv, Ifd-Umfrage 11024. Mit freundlicher Genehmigung des Instituts für Demoskopie Allensbach)

Tabelle 2	
Absorptionsmaxima der verschiedenen Tätowierfarben (mod. nach 7)	
Farbe	Absorptionsmaximum (Median, nm)
Schwarz	600–800
Blau	620–730
Dunkelblau	630–800
Grün	630–740
Grau	610–800
Orange	500–525
Violett	550–640
Rot	505–560
Rosa	530–560
Gelb	450–510

Nebenwirkungen und Begleiterscheinungen

Die häufigste Begleiterscheinung bei der Lasertherapie von Tattoos sind permanente Hypopigmentierungen. Besonders oft treten diese bei Verwendung

des Rubinlasers oder des frequenzverdoppelten Nd:YAG-Lasers auf. Eine Erklärung hierfür ist die Nähe der Wellenlängen dieser Laser zum Absorptionsspektrum von Melanin (300–500 nm) (11). Daher sollten sonnengebräunte Patienten oder Patienten mit

dunklen Hauttypen (*Fitzpatrick* IV) nicht mit diesen Lasertypen behandelt werden. Hält die Hypopigmentierung länger als sechs Monate an, kann der Versuch einer Repigmentierung mit dem Excimerlaser unternommen werden (21).

Hyperpigmentierungen entstehen meist bei dunkleren Hauttypen und bei intensiver Sonnenexposition. Daher sollte in den Wochen nach der Behandlung ein konsequenter Lichtschutz eingehalten werden. Der Versuch einer Aufhellung kann in der sonnenarmen Jahreszeit mit moderaten Energiedichten durch gütegeschaltete Laser oder mit fraktionierten Lasersystemen unternommen werden (11).

Ein Farbumschlag (»ink-darkening«) kommt vor allem bei der Behandlung von Permanent-Make-up und bei hautfarbenen Tätowierungen vor. Die starke Erhitzung durch den Laserimpuls führt dabei zu einer chemischen Reaktion der Farbpigmente. Wahrscheinlich spielt dabei eine Reduktion vom rostfarbenen Eisen-III-Oxid zum tief-schwarzen Eisen-II-Oxid eine Rolle. Der exakte chemische Vorgang ist nach wie vor unbekannt.

Die Umfärbung in Richtung Schwarz oder Grün ist besonders bei roten, braunen und hautfarbenen Tätowierungspigmenten beobachtet worden. Meist kann dieser Farbumschlag dann wie eine »normale« Tätowierung weiterbehandelt und auch entfernt werden (22).

Blasen und Krusten sind häufige Begleiterscheinungen bei der Entfernung von Tätowierungen. Diese heilen in der Regel nach einigen Tagen ab. Hierbei ist das Feedback des Patienten wichtig. Sollte er über eine starke Blasen- und Krustenbildung nach der letzten Behandlung berichten, empfiehlt sich die Verwendung defensiverer Behandlungsparameter für die folgende Behandlung.

Das Narbenrisiko ist bei adäquater Vorgehensweise mit < 4,5% als gering

einzuschätzen (3). Narben sind meist ein Zeichen für zu hohe Energiedichten, falsche Impulsdauern oder zu dunkle Hauttypen bei inadäquaten Lasertypen (11). Bei Entfernungen, die durch medizinische Laien wie Kosmetikern oder Tätowierern erfolgen, finden sich häufiger Narbenbildungen oder andere Begleiterscheinungen (26, 27).

Fazit

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass für die Entfernung von Tätowierungen verschiedene gütegeschaltete Lasersysteme zur Verfügung stehen. Insgesamt lassen sich mit dem Laser bei korrekter Anwendung sehr gute kosmetische Ergebnisse erzielen. Laientätowierungen benötigen deutlich weniger Lasersitzungen als Profitätowierungen aufgrund einer geringeren Pigmentdichte.

Schwarze, rote und grüne Farben lassen sich dabei am besten entfernen. Mischfarben und mehrfarbige Tätowierungen eignen sich häufig nicht für eine Entfernung mittels Laser.

Die Laserbehandlung von ausgewählten Tätowierungen stellt eine effektive und nebenwirkungsarme Therapieform dar. Sie sollte von lasererfahrenem, gut geschultem ärztlichen Personal durchgeführt werden.

Literatur

1. Friedman R, Antoine D, Talamo S, Reimer PJ, Taylor JH, Wills B, Mannino MA (2018): Natural mummies from Predynastic Egypt reveal the world's earliest figural tattoos. *Journal of Archaeological Science* 92, 116–125
2. Euen C (2017): Schönheitstrend: Tattoos und Körperhaarentfernungen werden bei den Deutschen immer beliebter www.uni-leipzig.de/service/kommunikation/medienredaktion/nachrichten.html?ifab_modus=detail&ifab_id=7419
3. Werner S, Drosner M, Raulin C (1999): Entfernung von Tätowierungen mit dem gütegeschalteten Rubinlaser (694 nm) und dem gütegeschalteten Nd:YAG-Laser (532 und 1.064 nm). *Hautarzt* 50, 174–180

4. Worret WI, Raulin C, Greve B, Hammes S (2009): So verschwinden Tätowierungen und Permanent-Make-up. *ästhetische dermatologie* 5, 6–12
5. Varma S, Lanigan S (1996): Motivation for tattoo removal. *Arch Dermatol* 132, 1516
6. Pfirrmann G (2008): Entfernung von Tattoos. *derm Praktische Dermatologie* 14, 393–397
7. Haedersdal M, Bech-Thomsen N, Wulf C (1996): Skin reflectance-guided laser selections for treatment of decorative tattoos. *Arch Dermatol* 132, 403–407
8. Karsai S, Bäumler W, Weiss C, Faulhaber J, Raulin C (2018): Tattoorentfernung mit Laser: Gibt es bereits Pikosekundenlaser? *JDDG* 1 (4), 467–469
9. 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
10. 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
11. Hammes S, Raulin C (2017): Entfernung von Tätowierungen – State of the Art 2017. *derm Praktische Dermatologie* 23, 523–535
12. 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
13. Drosner M, Trennheuser L (2013): Mehrfachbehandlung von Tätowierungen – bessere Aufhellung bei höherem Nebenwirkungsrisiko? *Akt Dermatol* 39 (07), 283–287
14. Anderson RR, Parrish JA (1983): Selective photothermolysis: precise microsurgery by selective absorption of pulsed radiation. *Science* 220 (4596), 524–527
15. Ferguson JE, Andrew SM, Jones CJP, August PJ (1997): The Q-switched neodymium:YAG laser and tattoos: a microscopic analysis of laser-tattoo interactions. *Br J Dermatol* 137, 405
16. Kilmer SL, Anderson RR (1993): Clinical use of the Q-switched ruby and the Q-switched Nd:YAG (1.064 nm and 532 nm) lasers for treatment of tattoos. *J Dermatol Surg Oncol* 19, 330
17. Michel S, Hohenleutner U, Bäumler W, Landthaler M (1997): Der gütegeschaltete Rubinlaser in der Dermatotherapie – Anwendung und Indikation. *Hautarzt* 48, 462
18. Raulin C, Hellwig S (1995): Entfernung von Laien- und Schmutztätowierungen durch gütegeschalteten Rubinlaser. *Hautarzt* 46, 711
19. 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
20. 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
21. 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

22. Anderson RR, Geronemus R, Kilmer SL, Farnelli W, Fitzpatrick RE (1993): Cosmetic tattoo ink darkening. A complication of Q-switched and pulsed-laser treatment. Arch Dermatol 129 (8), 1010–1014
23. Ross V1, Naseef G, Lin G, Kelly M, Michaud N, Flotte TJ, Raythen J, Anderson RR (1998): Comparison of responses of tattoos to picosecond and nanosecond Q-switched neodymium: YAG lasers. Arch Dermatol 134, 167–171
24. Pinto F, Große-Büning S, Karsai S, Weiß C, Bäuml 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, 457–464
25. Institut für Demoskopie Allensbach (2014): Tattoos und Piercings gefallen vor allem Jüngeren. www.ifd-allensbach.de/uploads/tx_reportsdocs/PD_2014_12.pdf
26. Hammes S, Karsai S, Metelmann HR, Pohl L, Kaiser K, Park BH, Raulin C (2013): Behandlungsfehler durch medizinische Laien bei Laser- und IPL-Anwendungen: Ergebnisse einer bundesweiten Erhebung. JDDG 11 (2), 149–157
27. 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

Anschrift für die Verfasser:

*Prof. Dr. med. Christian Raulin
MVZ Dres. Raulin und Kollegen
Kaiserstraße 104
76133 Karlsruhe
E-Mail info@raulin.de*