

Von der Tätowierung bis zur Laserentfernung – Risiken des permanenten Hautschmuckes

From tattooing to laser removal – risks of permanent skin decoration

Ines Schreiber, Peter Laux, Andreas Luch

Abstract

The diversity of tattoos in terms of shape and colour is reflected by the different compositions of inks and their potential side effects. In addition, the variety of methods for removal of the permanent skin decoration is apparently quite broad. The regulation of tattoo inks that has recently been implemented tries to accommodate these issues. However, due to data gaps in essential toxicity endpoints, this is as yet possible only to some extent. Current studies will facilitate a better understanding of pigment decomposition during laser removal of tattoos. There is a risk for cleavage of organic pigments into toxic and carcinogenic substances such as hydrogen cyanide and benzene, respectively.

Zusammenfassung

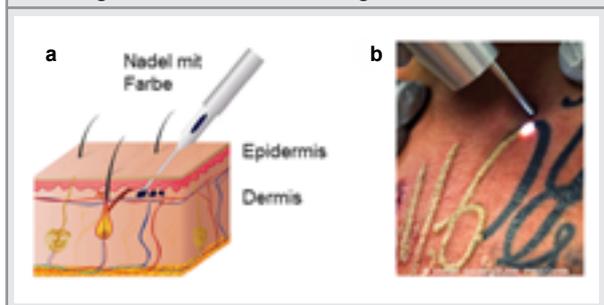
Die Vielfalt von Tätowierungen in Form und Farbe spiegelt sich auch in der Zusammensetzung von Tätowiermitteln und ihren möglichen Nebenwirkungen wider. Weiterhin sind augenscheinlich auch der Vielfalt der Methoden zur Entfernung des permanenten Hautschmuckes keine Grenzen gesetzt. Die in der jüngeren Vergangenheit implementierte gesetzliche Regelung von Tätowiermitteln versucht diesen Umständen gerecht zu werden. Dies ist jedoch aufgrund fehlender Daten zu risikobewertungsrelevanten Toxizitätsendpunkten bis jetzt nur teilweise möglich. Durch aktuelle Studien können künftig Fragen in Bezug auf die Zersetzung organischer Pigmente während der Laserentfernung von Tattoos besser beantwortet werden. Es besteht das Risiko der Spaltung organischer Pigmente in toxische oder krebserregende Stoffe wie beispielsweise Blausäure und Benzol.

Einleitung

Die Häufigkeit von Tätowierungen ist seit den 1990er Jahren stetig gestiegen, sodass in Deutschland unter den 16- bis 29-Jährigen bereits 23 Prozent eine farbige Verzierung in ihrer Haut tragen (Trampisch, Brandau 2014). Zu Tätowiermitteln werden auch Farben für die Anwendung als Permanent Make-up gezählt. Die Farbmittel werden dabei mit Nadeln in die mittlere Hautschicht (Dermis) eingebracht, wo sie dauerhaft eingelagert werden (**Abbildung 1**). Beim Permanent Make-up sowie beim sogenannten „Bio-Tattoo“ wird versucht in die obere Hautschicht (Epidermis) zu tätowieren, damit das Motiv mit der Zeit wieder verblasst. Da die Dicke der Hautschichten jedoch stark variieren kann, kommt es oft zu einer hier eher unerwünschten langfristigen Einlagerung.

Tätowiermittel sind Mischungen aus den farbgebenden Pigmenten und weiteren Komponenten. Hierzu zählen Lösungsmittel wie zum Beispiel Wasser und Isopropanol, Tenside, Bindemittel zur

Abbildung 1: (a): Schema der Farbeinbringung bei Tätowierungen in die dermale Hautschicht. Quelle: Bilderzweig / Fotolia. (b): „Whitening“-Effekt direkt nach der Laserbehandlung. Quelle: Michael Goulding / Zuma Press / Corbis.



Stabilisierung der Pigmente sowie meist auch Konservierungsstoffe (Dirks 2015). Oft werden auch verzichtbare Zusätze wie Duftstoffe und Pflanzenextrakte in die Farben eingearbeitet. Die Pigmente können sowohl anorganischen als auch organischen Ursprungs sein und bei Vorliegen eines niedrigen Reinheitsgrades toxische Elemente, krebserregende primäre aromatische Amine oder polyzyklische

aromatische Kohlenwasserstoffe enthalten (Hauri 2011; BVL 2007). Oftmals weisen die unlöslichen Pigmente auch Oberflächenmodifikationen auf, die ihre Suspension erleichtern sollen. Allerdings sind diese den Herstellern der Tätowiermittel oft nicht bekannt und damit beim Verkauf der Pigmente nicht immer klar angegeben. Als Hilfsstoffe zum Suspensieren der Pigmente können unter anderem Glycerin, Polyethylenglykole (PEG), Dimethylsiloxane, Schellack oder acrylathaltige Copolymere verwendet werden. Diese Stoffe gleichen denen aus der Herstellung handelsüblicher Farben und Kosmetika.

Aufgrund der Einstichtiefe der Tätowiernadeln ist davon auszugehen, dass alle löslichen Inhaltsstoffe über Blut und Lymphe unmittelbar systemisch verfügbar werden. Bei den unlöslichen Pigmenten ist dagegen eher mit einer stoff- und zeitabhängigen Mobilisierung aus den subepidermalen Depots zu rechnen.

Bis zum Inkrafttreten der nationalen Tätowiermittelverordnung (TätoV) unterlagen Tätowiermittel ausschließlich den Vorschriften des Lebensmittelgesetzes (LFGB). In Erfüllung des Gesetzestextes müssen die Produkte sicher sein und dürfen die menschliche Gesundheit nicht schädigen. Die Verantwortung für die Sicherheit der Tätowiermittel trägt dabei der Hersteller. Spezifische, auf die Anwendung von Tätowiermitteln bezogene Anforderungen stellt das LFGB jedoch nicht. Seit dem 1. Mai 2009 ist gemäß der TätoV der Einsatz derjenigen Pigmente in Tätowiermitteln verboten, deren Anwendung auch in kosmetischen Mitteln verboten oder eingeschränkt ist. Zudem ist festgelegt, dass bestimmte krebserregende aromatische Amine nicht durch reduktive Spaltung der Pigmente freisetzbar sein dürfen. Eine gesundheitliche Bewertung von Einzelstoffen für den Einsatz in Tätowiermitteln fehlt allerdings nach wie vor. Derzeit ist nicht bekannt, wie die in die Haut eingebrachten Tätowiermittel im Körper wirken. Daher spricht sich das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) bereits seit einigen Jahren für sogenannte Positivlisten für Pigmente und weitere Inhaltsstoffe aus, die eine umfassende toxikologische und biokinetische Charakterisierung und Bewertung durchlaufen haben. Weiterhin sollten die Anforderungen für die Reinheit von Tätowiermitteln speziell in Bezug auf Schwermetalle und krebserregende Substanzen in Form von zulässigen Höchstgehalten definiert werden.

Tätowiermittel unterliegen keiner Zulassungspflicht, es erfolgt lediglich eine Übermittlung von Handelsnamen und Inhaltsstoffen der Produkte an das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL). Die Lebensmittelüberwachungsämter der Bundesländer beproben regelmäßig stichprobenartig Tätowiermittel aus dem Handel sowie bei Gewerbetreibenden in Bezug auf Keimbelastung und Inhaltsstoffe. Bei Beanstandungen werden die Hersteller informiert. Sofern ernste Risiken für die Gesundheit möglich sind, werden die betroffenen Produkte in das Europäische Schnellwarnsystem (Rapid Alert System for dangerous non-food products, RAPEX) eingestellt, sodass sich auch Verbraucher und Tätowierer über gefährliche Farben informieren können. Für viele Inhaltsstoffe, zum Beispiel farbgebende Pigmente, fehlen jedoch validierte und allgemein anwendbare Analysemethoden.

Nebenwirkungen und Datenlücken

In Tätowiermitteln können toxische und allergene Substanzen, wie zum Beispiel Schwermetalle, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe oder primäre aromatische Amine, enthalten sein (BfR 2009). Insbesondere die Verunreinigung mit Nickel wird als problematisch angesehen, da es sich hierbei um das häufigste Kontaktallergen handelt. Menschen mit einer Nickelallergie sollten daher vor einer Tätowierung mögliche Gefahren sorgfältig abwägen. Das BfR empfiehlt die Gehalte an Nickel und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen auf technisch unvermeidbare Kontaminationen gemäß dem ALARA-Prinzip („as low as reasonably achievable“) zu reduzieren. Darüber hinaus werden des Öfteren auch überhöhte Gehalte allergener Konservierungsstoffe beschrieben (Hauri 2011; BVL 2007).

Eine in der Regel nicht berücksichtigte Quelle risikobehafteter Substanzen stellt die Freisetzung von potentiell toxischen und krebserregenden Spaltprodukten aus Pigmenten durch Sonnenlicht und Laserbestrahlung dar (Vasold et al. 2004). Forschungsbedarf besteht zudem im Bereich der Biokinetik und Metabolisierung der Inhaltsstoffe von Tätowiermitteln. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die löslichen Bestandteile der Trägerflüssigkeit sofort nach der Tätowierung systemisch verfügbar und gegebenenfalls verstoffwechselt werden. Möglich ist die daran anschließende Ausscheidung aus

dem Körper, über die es jedoch keinerlei Untersuchungen gibt. Im Gegensatz dazu sind Farbpigmente *per definitionem* unlöslich, werden aber dennoch zum Teil durch phagozytierende Zellen aufgenommen und abtransportiert. Durch die hohe Menge an Pigment in einzelnen Makrophagen kann es dabei zu einem sogenannten „overload“ kommen. Die Pigmente verbleiben dann, zum Teil eingekapselt, in der Dermis oder den regionären Lymphknoten (Sowden et al. 1991). Welche minimale beziehungsweise maximale Pigmentgröße von Immunzellen akzeptiert und in die Lymphknoten abtransportiert werden kann, ist derzeit vollkommen unklar. Neben einem Abtransport durch Makrophagen besteht weiterhin die Möglichkeit einer chemischen Spaltung der Farbpigmente oder ihrer Metabolisierung in der Haut, in deren Folge ein passiver Transport über Blut und Lymphe möglich wird. Dass Farbpigmente in großen Anteilen aus dem tätowierten Hautareal abtransportiert werden, wird durch den Befund massiver Pigmentablagerungen in den Lymphknoten tätowierter Menschen unzweifelhaft bestätigt. Schon allein makroskopisch fallen hier die unterschiedlichen Farbschattierungen in den regionären Lymphknoten nach entsprechender Präparation ins Auge.

Eine häufig auftretende adverse Reaktion auf Tätowierungen ist die Photosensitivität. Zahlreiche Betroffene klagen über Schwellungen, Juckreiz, Stechen, Schmerzen und Hautrötungen, sobald sie ihre Tätowierung der Sonne aussetzen (Carlsen, Serup 2013). Diese Reaktionen sind nicht an bestimmte Farbtöne gekoppelt und können alle Arten von Tätowierungen betreffen. Eine Erklärungsmöglichkeit dieser Hautreizung ist die Entstehung reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) auf der Partikeloberfläche kohlenstoffhaltiger Schwarzpigmente (Regensburger et al. 2010). Bei Tätowierungen mit Weißanteil besteht zudem die Gefahr, dass die im Vergleich zur Rutil-Modifikation besonders photoreaktive Anatas-Kristallkonfiguration des Pigments Titandioxid verwendet wurde und die Ausbildung einer Photosensitivität begünstigt. Um lichtinduzierte Hautirritationen oder Pigmentzersetzungen zu vermeiden, sollten Tätowierungen vor Sonneneinstrahlung, zum Beispiel durch die Verwendung von Sonnenschutzmitteln oder Abdeckung mittels Textilien, geschützt werden.

Auch Infektionen von Tätowierungen kurz nach dem Stechen treten immer wieder als Komplikationen auf. Diese können gleichermaßen durch

Bakterien (z.B. *Streptokokken*, *Staphylokokken*, *Mykobakterien*), Viren (z.B. Papilloma-, Herpes-, Hepatitis-Viren) oder Pilze (z.B. *Candida*, Schimmelpilze) ausgelöst werden. Das infektiöse Agens kann sowohl durch unsteril hergestellte Farben, unsachgemäße Handhabung und Lagerung, als auch durch mangelnde Hygiene bei der Tätowierung oder unvorsichtiges Verhalten des Trägers der Tätowierung während der Wundheilung eingetragen werden (BfR 2014).

Tattoo-Entfernung durch Laserbestrahlung und andere Methoden

Parallel zur Beliebtheit von Tätowierungen steigt die Zahl derer, die sich ihre Tätowierung wieder entfernen lassen möchten. Dieser Wunsch kann zum Beispiel dadurch ausgelöst werden, dass die Tätowierung den künstlerischen Anspruch des Trägers nicht mehr erfüllt oder sich geänderte Lebens- oder Arbeitsumstände nicht mehr mit der Tätowierung vereinbaren lassen. Die psychische Belastung durch die Tätowierung kann je nach betroffenem Hautareal und Motiv sehr hoch sein, sodass nicht generell von einer Entfernung abzuraten ist (Carlsen, Serup 2015). Jedoch birgt jede Entfernungsmethode auch Risiken und teilweise hohe finanzielle Belastungen, welche vor Beginn der Entfernung abgewogen werden müssen. Durch stetige Neuentwicklungen gibt es keine abschließende Liste von Verfahren zur Entfernung von Tätowierungen. Häufig angewandte Entfernungsmethoden sind zum Beispiel Laserbehandlung, IPL (Intense pulsed light)-Geräte, Milchsäure oder invasive chirurgische Eingriffe. Zu den allgemeinen und unerwünschten Folgen einer Tätowierungsentfernung zählen Narben, Pigmentstörungen, Entzündungen und allergische Reaktionen (Bernstein 2007). Das BfR hat zur Tattoo-Entfernung mittels Milchsäure am 1. August 2011 eine Stellungnahme veröffentlicht. Konzentrierte Milchsäure wird wegen ihrer reizenden Wirkung auf Haut und Schleimhäute als gesundheitlich bedenklich eingestuft und kann bei intradermaler Applikation schwere Entzündungen und andere Nebenwirkungen hervorrufen (BfR 2007). Da allgemein nicht ausgeschlossen werden kann, dass eine Behandlung unter unsterilen Bedingungen zu einer Kontamination mit pathogenen Keimen führt, empfiehlt das BfR eine Entfernung nur durch medizinisch anerkannte Verfahren durch geschultes Personal vornehmen zu lassen (BfR 2011).

Ein unsachgemäßer Umgang mit sogenannten IPL-Geräten kann zu Verbrennungen, Narbenbildung, Entzündungsreaktionen und Pigmentierungsstörungen führen (Bernstein 2007). Bei IPL-Geräten besteht bei einem Einsatz durch unzureichend geschultes Personal die Gefahr der Augenschädigung. Der Einsatz eines Lasers mit einer pigmentspezifischen Wellenlänge und kürzerer Pulsdauer ist in Bezug auf Narbenbildung weniger risikobehaftet, wenn dieser in medizinischen Einrichtungen von erfahrenem Personal eingesetzt wird. Eine vollständige Entfernung ist jedoch insbesondere bei weißen, gelben und rot/orangen Tätowierungen oft nicht erreichbar. Ein weiteres Risiko besteht zudem in einem Farbumschlag heller Tätowierungen in Richtung dunkle Farbtöne. Weiterhin können Narben, welche von der Tätowierung verborgen werden, zum Vorschein treten. In der Literatur sind außerdem Berichte zu finden, welche die Ausbildung von Allergien nach Laserentfernung von Tätowierungen beschreiben.

Die Zersetzung von organischen Pigmenten durch Laserbestrahlung ist für einige Azopigmente bereits nachgewiesen worden, aus denen sich unter anderem krebserregende primäre aromatische Amine abspalten können. Die Untersuchung von lichtechteren polyzyklischen Pigmenten zeigte bisher nur

bei dem Pigment Chinacridon Rot 202 eine Abspaltung von 4-Chloranilin durch Exposition gegenüber einer sonnenähnlichen Lichtquelle (Hauri, Hohl 2015). In einer eigens am BfR durchgeführten Forschungsarbeit konnte dagegen erstmals auch für das polyzyklische Pigment Kupfer-Phthalocyanin Blau gezeigt werden, dass hochtoxische Blausäure und das Humankarzinogen Benzol freigesetzt werden (Schreiver et al. 2015). Als weitere Zersetzungsprodukte treten zudem 1,2-Benzoldicarbonitril und Benzonitril auf. Kupfer-Phthalocyanin (auch als Phthalocyanin Blau oder Pigment B15:3 bekannt) ist derzeit das einzige relevante in Tätowiermitteln eingesetzte Blaupigment.

In der genannten Studie wurde der Einfluss von zwei Lasern mit insgesamt drei verschiedenen Wellenlängen untersucht, welche oft zur Entfernung von Tätowierungen in der klinischen Dermatologie zum Einsatz kommen. Die Lichtpulse werden wellenlängenabhängig von dem Pigment absorbiert und führen zu einer hitzebedingten Spaltung der Pigmente (**Abbildung 2**). Die gasförmige Ausdehnung führt zu Hohlräumen und somit zu einer Lichtbrechung. Ein Phänomen, das durch die Weißfärbung der Haut – das sogenannte „whitening“ – für einige Minuten sichtbar ist (**Abbildung 1**). Durch das Einfließen von Lympfflüssigkeit wird

die Lichtbrechung und damit die Weißfärbung dann nach und nach abgemildert. Die thermisch bedingte Spaltung von Kupfer-Phthalocyanin wurde am BfR zunächst durch Pyrolyse simuliert. Die flüchtigen Komponenten wurden gaschromatographisch (GC) getrennt und nachfolgend mit einem Massenspektrometer (MS) analysiert. Da die Ergebnisse der Pyrolyse-GC/MS eine Bildung von hochflüchtigen Substanzen wie Blausäure und Benzol zeigten, wurde weiterhin eine „dynamische Headspace“ (DHS)-Methode entwickelt. In Kombination dieser Methode mit einer zweidimensionalen Gaschromatografie mit Flugzeitmassenspektrometer (GCxGC-ToF-MS) konnten auch geringste Konzentrationen aller erwarteten Substanzen in gelaserten wässrigen Suspensionen dieses Pigments nachgewiesen werden (Schreiver et al. 2015).

Aufgrund ihrer starken Toxizität ist die Entstehung von Blausäure (HCN) besonders kritisch einzuschätzen. Die Eigenschaften von HCN als farbloses, schnellwirkendes toxisches Gas sind schon seit langem bekannt. Die gefundenen Höchstwerte von 30 µg/ml HCN bei Pigmentkonzentrationen über 1 mg/ml bewirkten *in vitro* eine signifikante Abnahme der Viabilität humaner Hautzellen (Schreiver et al. 2015). Extrapoliert man diese Menge auf mögliche Freisetzungen *in vivo* aus großen Tätowierungen (z. B. Oberarm >500 cm²), so addiert sich die mögliche Blausäurefreisetzung zu Werten auf,

die ein potentielles Gesundheitsrisiko darstellen können. Eine Exposition gegenüber karzinogenen Stoffen, wie zum Beispiel dem hier entstehenden Benzol, sollte generell vermieden werden. Die individuellen Risiken variieren je nach Größe, Pigmentkonzentration, Einstichtiefe, Bestrahlungsintensität und Wellenlänge der verwendeten Laser. Weiterführende Experimente sollen die Entstehung toxischer Spaltprodukte dieser und anderer wichtiger Pigmentklassen in Hautproben realitätsnah nachstellen. Dazu werden derzeit entsprechende Experimente an post-mortem tätowierter Schweinehaut durchgeführt. Die hierdurch gewonnenen Daten zu Spaltprodukten von Farbstoffen sollen in Zukunft bei der Risikobewertung berücksichtigt werden.

Die Zukunft der Tätowiermittel-Sicherheit

Für eine verlässliche und belastbare Risikobewertung von Tätowiermitteln fehlen derzeit noch grundlegende Daten zur Toxizität und Biokinetik von Pigmenten (**Abbildung 3**) (Laux et al. 2016). Darüber hinaus verdeutlichen regelmäßig auftretende Mängel in der Reinheit von Tätowiermitteln, insbesondere aufgrund von Kontaminationen mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, primären aromatischen Aminen und Schwermetallen, eine nur unzureichende Einhaltung der

Abbildung 2: Laserinduzierte Zersetzung von Kupfer-Phthalocyanin Blau (modifiziert nach Schreiver et al. 2015).
 (a): Zersetzungsschema mit den Hauptprodukten 1,2-Benzoldicarbonitril (BDCN), Benzonitril (BCN), Blausäure (HCN) und Benzol.
 (b): Absorptionsspektrum von Kupfer-Phthalocyanin Blau mit gekennzeichneten Wellenlängen von zwei häufig eingesetzten Lasertypen.
 (c): Blausäurekonzentration nach Bestrahlung von wässrigen Suspensionen mit einem Rubinlaser in Abhängigkeit von der Anzahl der applizierten Laserpulse (rechts), der Pigmentkonzentration (Mitte) und des eingesetzten Lasers (links). Alle Proben wurden mit einer Energie von 5 J/cm² bestrahlt.

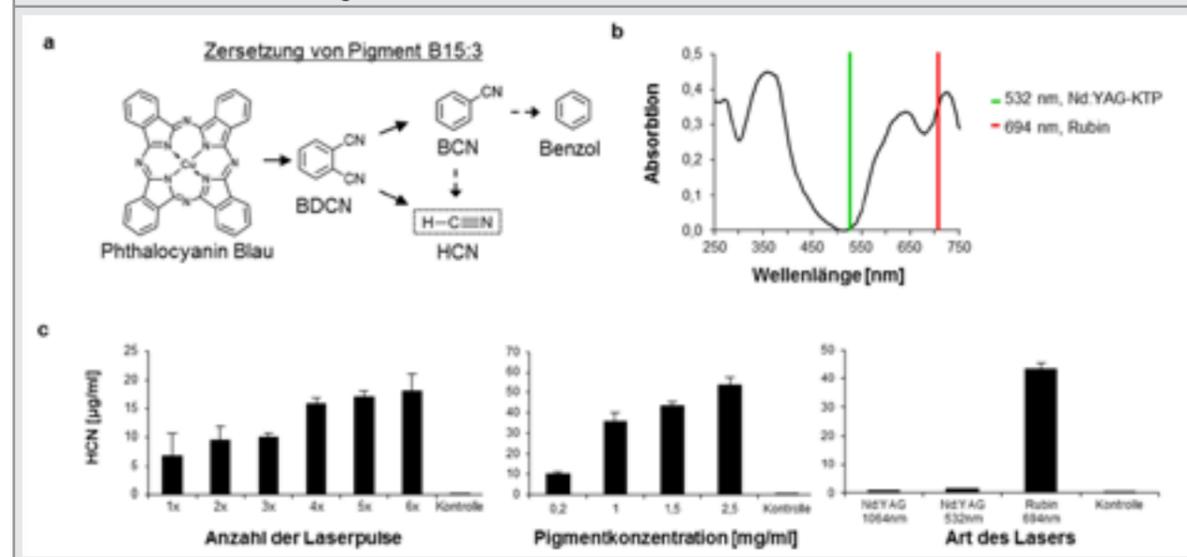


Abbildung 3: Kriterien für eine Bewertung von Farbstoffen für Tätowierungen und Permanent Make-up nach der Resolution ResAP(2008)1 des Europa Rates und der 1. Sitzung des Adhoc-Ausschusses „Tätowiermittel“ der BfR-Kommission für Kosmetische Mittel. Quelle: Council of Europe 2008; BfR 2009.



derzeitigen Tätowiermittelverordnung (BVL 2007; CVUA Karlsruhe und Freiburg 2011). Während die Schaffung von Positivlisten als eher mittel- bis langfristig erreichbares Ziel angesehen werden muss, könnte die kurzfristige Etablierung verlässlicher und allgemeingültiger analytischer Methoden wesentlich zu einem höheren Sicherheitsniveau für Tätowierungen beitragen. Das BfR leistet in diesem Zusammenhang durch die oben genannten Forschungsprojekte international weit beachtete Pionierarbeiten (Laux et al. 2016).

Literatur

Bernstein EF (2007): Laser tattoo removal. *Semin. Plast. Surg.* 21(3):175–92. DOI:10.1055/s-2007-991186.

BfR – Bundesinstitut für Risikobewertung (Hrsg.) (2007): Ärztliche Mitteilungen bei Vergiftungen. http://www.bfr.bund.de/cm/350/aerztliche_mitteilungen_bei_vergiftungen_2007.pdf (Zugriff am: 29.01.2016).

BfR – Bundesinstitut für Risikobewertung (Hrsg.) (2009): Protokoll vom 04.11.2009 der Sitzung des adhoc Ausschusses „Tätowiermittel“ der BfR-Kommission für kosmetische Mittel. http://www.bfr.bund.de/cm/343/1_sitzung_des_adhoc_ausschusses_taetowiermittel_der_bfr_kommission_fuer_kosmetische_mittel.pdf (Zugriff am: 29.01.2016).

BfR – Bundesinstitut für Risikobewertung (Hrsg.) (2011): Tattoo-Entfernung: Einsatz wässriger Milchsäure ist mit gesundheitlichen Risiken verbunden. Mitteilung Nr. 033/2011 des BfR vom 1. August 2011. http://www.bfr.bund.de/cm/343/tattoo_entfernung_einsatz_waessriger_milchsaeure_ist_mit_gesundheitlichen_risiken_verbunden.pdf (Zugriff am: 29.01.2016).

BfR – Bundesinstitut für Risikobewertung (Hrsg.) (2014): Infektionsrisiken durch Tätowierungen. Mitteilung Nr. 017/2014 des BfR vom 1. Februar 2014. <http://www.bfr.bund.de/cm/343/infektionsrisiken-durch-taetowierungen.pdf> (Zugriff am: 29.01.2016).

BVL – Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (Hrsg.) (2007): Bericht zur Lebensmittelsicherheit. Bundesweiter Überwachungsplan. Berlin. https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/01_Lebensmittel/02_BUEp_dokumente/buep_berichte_archiv/BUEp_Bericht_2007.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (Zugriff am: 29.01.2016).

Carlsen KH, Serup J (2013): Photosensitivity and photodynamic events in black, red and blue tattoos are common: A „Beach Study“. *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.* 28: 133–262.

Carlsen KH, Serup J (2015): Patients with tattoo reactions have reduced quality of life and suffer from itch: Dermatology Life Quality Index and Itch Severity Score measurements. *Skin Res. Technol.* 21: 101–107.

Council of Europe (Hrsg.) (2008): Resolution ResAP(2008)1 on requirements and criteria for the safety of tattoos and permanent make-up (superseding Resolution ResAP(2003)2 on tattoos and permanent

make-up). <https://wcd.coe.int/ViewDoc.jsp?id=1254065> (Zugriff am: 29.01.2016).

CVUA – Chemische und Veterinäruntersuchungsämter Karlsruhe und Freiburg (Hrsg.) (2011): Internetartikel Tätowierfarben. <http://www.ua-bw.de/uploaddoc/cvuaka/Tattoo-Ergebnistabelle%20CVUAs-veroeffentl-180211.pdf> (Zugriff am: 29.01.2016).

Dirks M (2015): Making innovative tattoo ink products with improved safety: possible and impossible ingredients in practical usage. *Curr. Probl. Dermatol.* 48: 118–127.

Hauri U, Hohl C (2015): Photostability and breakdown products of pigments currently used in tattoo inks. *Curr. Probl. Dermatol.* 48: 164–169.

Hauri U (2011): Tinten für Tattoo und PMU / Organische Pigmente, Aromatische Amine, Nitrosamine, Konservierungsmittel und weitere Verunreinigungen. Kantonales Laboratorium Basel, Schweiz. <http://www.gesundheitschutz.bs.ch/konsum-umwelt/berichte/2011.html> (Zugriff am: 29.01.2016).

Laux P, Tralau T, Tentschert J et al. (2016): A medical-toxicological view of tattooing. *Lancet* 387: 395–402.

Regensburger J, Lehner K, Maisch T et al. (2010): Tattoo inks contain polycyclic aromatic hydrocarbons that additionally generate deleterious singlet oxygen. *Exp. Dermatol.* 19: e275–281.

Schreiver I, Hutzler C, Laux P et al. (2015): Formation of highly toxic hydrogen cyanide upon ruby laser irradiation of the tattoo pigment phthalocyanine blue. *Sci. Rep.* 5: 12915.

Sowden J, Byrne J, Smith A et al. (1991): Red tattoo reactions: x-Ray microanalysis and patch-test studies. *Brit. J. Dermatol.* 124: 576–589.

TätoV – Tätowiermittel-Verordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 13. November 2008 (BGBl. I S. 2215), die durch Artikel 3 der Verordnung vom 16. Juli 2014 (BGBl. I S. 1054) geändert worden ist.

Trampisch HJ, Brandau K (2014): GfK Tattoostudie: Tattoos und Piercings in Deutschland. Eine Querschnittsstudie. Ruhr Universität Bochum. <http://aktuell.ruhr-uni-bochum.de/mam/content/tattoo-studie.pdf> (Zugriff am: 29.01.2016).

Vasold R, Naarmann N, Ulrich H et al. (2004): Tattoo pigments are cleaved by Laser light - the chemical analysis in vitro provide evidence for hazardous compounds. *Photochem. Photobiol.* 80: 185–190.

Kontakt

Andreas Luch
Bundesinstitut für Risikobewertung
Abteilung für Chemikalien- und Produktsicherheit,
Max-Dohrn-Straße 8–10
10589 Berlin
E-Mail: [Andreas.Luch\[at\]bfr.bund.de](mailto:Andreas.Luch[at]bfr.bund.de)

[BfR]