

Green hospital – medicine with a zero-carbon footprint?

K. Zacharowski



www.ai-online.info

► **Zitierweise:** Zacharowski K: Green Hospital – Medizin ohne CO₂-Fußabdruck? Anästh Intensivmed 2023;64:433–437. DOI: 10.19224/ai2023.433

Interessenkonflikt

Die Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie des Universitätsklinikums Frankfurt an der Goethe-Universität erhielt Unterstützung von B. Braun Melsungen, CSL Behring, Fresenius Kabi und Vifor Pharma für die Umsetzung des Frankfurter Patient Blood Management-Programms.

KZ erhielt Honorare für die Teilnahme an Beiratssitzungen für Haemonetics und Vifor und erhielt Vortragshonorare von CSL Behring, Masimo, Pharmacosmos, Boston Scientific, Salus, iSEP, Edwards und GE Healthcare.

Er ist Principal Investigator des EU-Horizon 2020-Projekts ENVISION (Intelligentes digitales Plug-and-Play-Tool für die Echtzeit-Überwachung von COVID-19-Patienten und intelligente Entscheidungsfindung auf Intensivstationen) und des Horizon Europe 2021-Projekts COVend (Biomarker- und KI-gestützte FX06-Therapie zur Verhinderung des Fortschreitens von leichten und mittelschweren bis schweren Stadien von COVID-19).

KZ leitet als CEO die Christoph Lohfert Stiftung sowie die Stiftung für Gesundheit, Patientensicherheit und PBM.

Schlüsselwörter

Volatile Anästhetika – TIVA – Green Hospital – CO₂-Fußabdruck – Müllvermeidung

Keywords

Volatile Anaesthetics – TIVA – Green Hospital – Carbon Footprint – Waste Prevention

Zusammenfassung

Inhalationsanästhetika werden aktuell in der Europäischen Union auf ihre potentiell Umwelt-schädigen Aspekte neu bewertet. Auch andere Medikamente, die in der modernen Anästhesiologie eingesetzt werden, unterliegen einer ähnlichen Bewertung. Als nahezu letztes Querschnittsfach in einer hochspezialisierten kleinteiligen Medizin ist sich die Anästhesiologie deren Verantwortung gegenüber den Patientinnen und Patienten und der Umwelt zunehmend bewusst. Es fehlen jedoch durchdachte Strategien im Spagat zwischen einer individuellen Risiko-Nutzen-Abwägung für die jeweiligen Patientinnen und Patienten und der Ökologie. Die Diskussion Inhalationsnarkose versus TIVA ist hier sicherlich der falsche Lösungsansatz. Ökologische Fragestellungen können und dürfen sich nicht auf die Reduzierung der Gasnarkosen beschränken. In deutschen Kliniken fallen Tonnen hausmüllähnliche, aber auch infektiöse Abfälle an. Dabei gelten Kliniken schon heute als fünftgrößter Müllproduzent in Deutschland. Theoretisch könnten bis zu 90 % aller Plastikmaterialien, Verpackungen und Glasabfälle dem Recycling zugeführt werden. Hier könnte sich ein Ansatzpunkt finden, der unmittelbar und mit Leichtigkeit realisierbar ist, einschließlich des Sammelns und der Aufarbeitung von volatilen Anästhetika.

Summary

The European Union is currently reassessing inhalation anaesthetics for their

Green Hospital – Medizin ohne CO₂-Fußabdruck?

potential detrimental effects on the environment. Other drugs used in modern anaesthesiology are also subject to a similar assessment. Being almost the last cross-sectional specialty in a highly specialized small-scale medicine, anaesthesiology is becoming increasingly aware of its responsibility towards patients and the environment. However, there is a lack of well thought-out strategies in the balancing act between individual risk-benefit considerations for the respective patients and ecology. A discussion of inhalation anaesthesia versus TIVA is certainly the wrong approach to finding a solution to the problem. Ecological issues just cannot and must not be limited to the reduction of gas anaesthesia. German hospitals are generating tons of waste similar to household waste, but also infectious waste. Hospitals are in general already considered to be the fifth largest waste producer in Germany. Theoretically, up to 90 % of all plastic materials, packaging and glass waste could be recycled. This could be a starting point that can be realized immediately and with ease, also as much as the collection and reprocessing of volatile anaesthetics is concerned.

Einleitung

Zunehmend werden uns die Auswirkungen von Inhalationsanästhetika auf die Umwelt bewusst. Als nahezu letztes Querschnittsfach in einer hochspezialisierten kleinteiligen Medizin ist sich die Anästhesiologie ihrer Verantwor-

tung gegenüber den Patientinnen und Patienten und der Umwelt zunehmend bewusst. Es fehlen jedoch durchdachte Strategien im Spagat zwischen einer individuellen Risiko-Nutzen-Abwägung für die jeweiligen Patientinnen und Patienten und der Ökologie. Nicht zuletzt seitens der Politik werden zu oft vermeintlich einfache Lösungen postuliert und dogmatisch in Verordnungen und Gesetzen festgeschrieben. Ein gutes Beispiel für die Komplexität entsprechender Fragestellungen ist die deutsche Elektromobilität. Macht man sich die fehlende Ladeinfrastruktur, die Limitierungen für die Langstrecke, drohende regionale oder gar flächendeckende Blackouts und den zunehmenden Anteil der konventionellen Stromerzeugung mit vorwiegend fossilen Energieträgern einmal bewusst, wird klar, dass eine zeitnahe singuläre Elektromobilität keinesfalls zielführend und auch ökologisch nicht sinnvoll sein kann. Gleichzeitig werden mögliche Alternativen wie die Menthol-Brennstoffzelle mehr oder minder ignoriert. Entsprechend werden unsere Antworten für die Anästhesiologie weder einfach noch einheitlich, aber auf keinen Fall dogmatisch sein.

TIVA – die Alternative zur Narkose mit volatilen Anästhetika?

Inhalationsnarkose versus TIVA – seit Mitte der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts wurde diese Fragestellung regelmäßig aus unterschiedlichsten Blickwinkeln heraus publiziert und teilweise emotional diskutiert. Dabei standen nicht nur postoperative Übelkeit und Erbrechen (PONV) oder Fragen der Verträglichkeit, Nebenwirkungen und Hämodynamik im Fokus. Sehr früh wollte man durch die Verwendung von Propofol zur TIVA die Belastung am Arbeitsplatz und für die Umwelt senken. So nahm sich bereits die 1990 am Universitätsklinikum Ulm gegründete Forschungsgruppe „Anästhesie und Umwelt“ diesem Aspekt an [1]. Schnell kam die Forschungsgruppe zu der Schlussfolgerung, dass der ausschließliche Ge-

brauch von Propofol zur Vermeidung der Umweltbelastung durch volatile Anästhetika überdacht werden muss. Eine vollständige Umstellung von der Inhalationsanästhesie auf TIVA würde die Wasserverschmutzung erhöhen und nicht zu einer Lösung, sondern lediglich zu einer Verlagerung des Umweltproblems führen. Ausschlaggebend war dabei, dass Propofol teilweise unverstoffwechselt ausgeschieden wird [2]. Nicht metabolisierte Arzneimittel gelangen als bioaktive Substanzen ins Abwasser und gelten als biologisch am schwersten abbaubare Substanzen [3]. Zum überwiegenden Teil wird Propofol hepatisch glucuronidiert bzw. oxidiert zu unterschiedlichen Chinolverbindungen umgewandelt [4]. Sogenannte strukturell verwandte Substanzen, also Umwandlungsprodukte, Metaboliten und Konjugate, sind aber für die Ökologie ebenfalls mehr als relevant. Diese können vergleichbare Wirkungen wie die Ausgangsverbindung haben, aber auch höhere oder geringere Wirkungen sind möglich. Propofol (ein Alkylphenol) und seine Abbauprodukte gelangen in die Abwässer der Kliniken und damit über die Kläranlagen in den Trinkwasserkreislauf. Zwar gelten Phenole und deren Spaltprodukte als stark wassergefährdende Stoffe [5], genaue Angaben über deren Toxizität, gesundheitsschädliche Schwellenwerte und Lebensdauer im Abwasser fehlen allerdings [6]. Über Alkylphenole ist bekannt, dass sie in Abwässern eine intrinsische östrogenähnliche Aktivität haben; ihre Halbwertszeiten sind unbekannt [7]. Bereits Spuren von Phenolen machen dabei das Trinkwasser aufgrund ihres unappetitlichen Geruches völlig ungenießbar [8]. Das Problem wird noch verstärkt, wenn Propofol-Reste über den Ausguss entsorgt und direkt dem Wasserkreislauf zugeführt werden. Zur Reduzierung der Trinkwasserbelastung sollten die Medikamentenreste dem Verbrennungsmüll zugeführt werden. Die Schwierigkeit der Analyse von Krankenhausabwässern verdeutlicht eine Studie aus dem Jahr 1998. Die ermittelte Phenolmenge lag hier mit 0,132 mg/l leicht über der normalen häuslichen Gewässerbelastung [9]. Diese Untersu-

chung von Gartiser und Kollegen wurde wohl jedoch in einem Krankenhaus durchgeführt, in dem kein Propofol zur Anästhesie verwendet wurde [10]. Gleichfalls gibt es Hinweise darauf, dass es zu einer De-Glucuronidierung im Abwasser kommen könnte, da in einer Studie die Propofolkonzentration beim Verlassen von Kläranlagen höher war als im zugeführten Wasser [11]. Im Einklang mit der Konsenserklärung der World Federation of Societies of Anaesthesiologists über die Grundsätze einer umweltverträglichen Anästhesie aus dem Jahr 2022 benötigen wir mehr gesicherte Untersuchungen zu Arzneimitteln und deren Metaboliten im Wasserkreislauf [12].

Recycling – mehr als nur getrennte Entsorgung?

Aktuell wird immer wieder die Gretchenfrage gestellt, ob das Glas nun halb voll oder halb leer ist. Wahr ist, dass aktuell Desfluran noch nicht wieder in den Produktkreislauf eingebracht werden konnte. Grund dafür sind im Wesentlichen die aufwändigen Zulassungsprozesse für Pharmaka. Die derzeit bestehende Lösung von ZeoSys ist jedoch ein entscheidender Schritt in die richtige Richtung: Die Aufbereitung von Narkosegasen ist in einer von den Aufsichtsbehörden bereits zertifizierten Anlage nach § 13 Arzneimittelgesetz in Lückenwalde geplant und die pharmakologische Zulassung läuft. Das Verfahren hat die modulare dezentrale Anlage für die Wiedergewinnung als Vision, um so lange Transportwege zu vermeiden. Und schon jetzt liegt die recycelte Menge des aufgefangenen Narkosegases bei rund 99 %. Natürlich können nach der Extubation keine abgeatmeten Anästhetika mehr gesammelt werden und somit ist ein vollständiges Auffangen des Gases unmöglich. Auch erscheint der Anteil der Rückgewinnungsrate zunächst enttäuschend [13]. Jedoch muss das Filtersystem auch vollständig mit Narkosegasen befüllt werden. Hier sind weitere Innovationen der Industrie notwendig und in der Entwicklung.

Inhalationsanästhesie – ein Auslaufmodell?

Zweifelsfrei müssen bei der Auswahl des individuell geeigneten Narkoseverfahrens auch die Umweltauswirkungen berücksichtigt werden. Im Gegensatz zu den konventionellen Inhalationsanästhetika verursacht das Edelgas Xenon keine Umweltbelastung und galt lange als nahezu ideales Anästhetikum. Neben den anästhetischen und analgetischen Effekten konnten für Xenon insbesondere kardio- und neuroprotektive Effekte nachgewiesen werden [14–16]. Allerdings konnte sich Xenon aufgrund seiner hohen Kosten und der fehlenden Verfügbarkeit von speziellen Narkoserespiratoren nicht im Klinikalltag etablieren. In naher Zukunft könnte jedoch die Kombination aus den Edelgasen Xenon und Argon eine wichtige Rolle spielen. Im Jahr 2014 stellten Kristensen et al. heraus, wie wichtig die Entwicklung von organprotektiven Strategien für die Allgemeinanästhesie ist [17]. Im Fokus stand dabei im Lichte einer alternden Bevölkerung die Tatsache, dass das Altern mit einem fortschreitenden Verlust an funktionellen Reserven in mehreren Organsystemen einhergeht und das Ausmaß und der Beginn dieser Veränderungen individuell sehr unterschiedlich sind. Aus diesen Gründen haben sich verschiedene Klinikerninnen und Kliniker und Forscherinnen und Forscher auf Techniken zur Vermeidung von unerwünschten Ereignissen nach Operationen und der Allgemeinanästhesie konzentriert, die von leichten körperlichen Herausforderungen bis hin zu neurokognitiven Störungen reichen. Eine Studie untersuchte den kognitiven Status einer Gruppe von Probandinnen und Probanden, die mehrere Tage lang einer Atemgasmischung aus Sauerstoff (14 %), Stickstoff (33 %), Argon (54 %) und CO₂ (0,24 %) ausgesetzt waren, gefolgt von einer mehrtägigen Exposition unter hypoxischen Bedingungen [18]. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer schnitten bei kognitiven Tests besser ab und berichteten im Vergleich zu den hypoxischen Bedingungen über ver-

schiedene körperliche Vorteile, wenn sie das erste Gemisch einatmeten.

Im Jahr 2007 stellten Pagel et al. die Hypothese auf, dass auch andere Edelgase als Xenon den Herzmuskel schützen können [19]. An Kaninchen wiesen Pagel und sein Team nach, dass die Anwendung von Argon vor einem längeren Koronararterienverschluss den Herzmuskel vor einem Infarkt schützt. In jüngerer Zeit haben Grüne et al. die „sich häufenden Daten“ hervorgehoben, die die neuroprotektive Wirkung von Argon belegen, und die Notwendigkeit zusätzlicher Untersuchungen seiner cerebrovaskulären und cerebrometabolischen Effekte betont [20]. Grüne untersuchte die Auswirkungen von Hyperventilation versus Hypoventilation bei anästhesierten Patientinnen und Patienten anhand von Parametern des Kreislaufs und des cerebralen Stoffwechsels. Die Patientinnen und Patienten wurden nach einer kurzzeitigen mechanischen Beatmung mit 70 % Argon und 30 % O₂ untersucht. Dabei konnten keine Auswirkungen auf den cerebralen Kreislauf oder den globalen Sauerstoff- und Glukosestoffwechsel festgestellt werden. Somit hat auch diese Studie gezeigt, dass Argon aufgrund der fehlenden cerebrovaskulären und cerebrometabolischen Wirkungen als vielversprechender Kandidat mit organprotektiven Wirkungen weiter erforscht werden sollte. In einem interessanten Übersichtsartikel postulierten Nepoli et al., dass die Summe der präklinischen und klinischen Daten den Schritt zu klinischen Studien über die Rolle von Argon beim Organschutz rechtfertigt [21]. In dieser Übersichtsarbeit wurde in 55 Artikeln festgestellt, dass die Beatmung mit Argon in einer Konzentration von 20–80 % zu einer Verringerung des Zelltods, einer Verkleinerung der Infarktgröße und einer verbesserten funktionellen Erholung nach einer Ischämie führt.

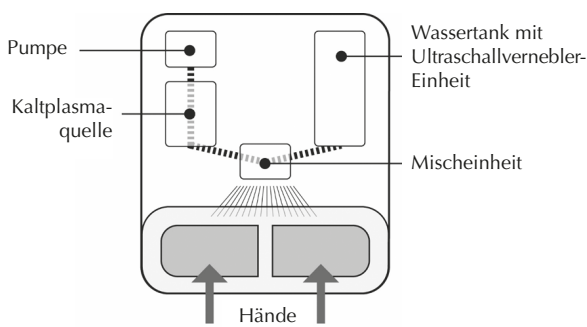
Es wäre nun an der Zeit, aus ökologischer und medizinischer Sicht neue Gaskombinationen zur Erhöhung der Organprotektion zu erforschen, eben z. B. Kombinationen mit Argon.

Hat die Zukunft der grünen Anästhesie bereits begonnen?

Ökologische Fragestellungen können und dürfen sich nicht auf die Reduzierung der Gasnarkosen beschränken. In deutschen Kliniken fallen Tonnen hausmüllähnliche, aber auch infektiöse Abfälle an. Dabei gelten Kliniken schon heute als fünftgrößter Müllproduzent in Deutschland [22]. Ob und in welchem Umfang infektiöse oder hausmüllähnliche Abfälle frühzeitig getrennt und damit zumindest theoretisch dem Recycling zugeführt werden können, ist im Wesentlichen vom Urteil der jeweiligen Anwenderin bzw. des jeweiligen Anwenders vor Ort abhängig. In der Praxis hat sich allerdings gezeigt, dass beispielsweise Ängste in Zusammenhang mit dem gefühlten Infektionsrisiko eine rationale Abfalltrennung verhindern. Theoretisch könnten bis zu 90 % aller Plastikmaterialien, Verpackungen und Glasabfälle dem Recycling zugeführt werden. Hier könnte sich ein Ansatzpunkt finden, der an jeder Klinik und jedem Ambulatorium unmittelbar und mit Leichtigkeit realisierbar ist.

Aber auch andere Entwicklungen sind im Spannungsfeld zwischen medizinischer Notwendigkeit und Ökologie mehr als interessant. Zum Beispiel kann anstatt der konventionellen Händedesinfektion mittels alkoholhaltiger Substanzen alternativ auch ein neuartiges Kaltplasma-Vernebelungsverfahren verwendet werden. Dabei wird Wasserdampf und Sauerstoff aus der Umgebungsluft genutzt und an einer speziellen Plasmaquelle in sogenannte Hydroxylradikale umgewandelt. Ein geringer schmerzfreier Stromfluss bei einer definierten Spannung führt dann zur gewünschten Reaktion [23]. Das generierte Plasma wird in eine Mischeinheit geleitet und dort mit kleinsten Aerosolen gemischt, die aus stabilisiertem destilliertem Wasser entstehen und mithilfe eines Aerosolgenerators erzeugt werden. Das Gemisch wird dann in der Handkammer auf die Hände „vernebelt“. Dabei löst sich ein Teil der Hydroxylradikale in den Aerosoltröpfchen, sodass

Abbildung 1



Schematischer Aufbau eines Kaltplasma-Verneblers zur Händedesinfektion.

die zu desinfizierenden Hände sowohl mit einer Gasphase als auch mit einer Flüssigphase von Wasser in Berührung gebracht werden (Abb. 1).

Der Wirkstoff wird an Ort und Stelle im Gerät produziert und benötigt keine zusätzlichen Chemikalien. Mithilfe des wiederauffüllbaren Wassertanks können rund 2.000 Desinfektionszyklen durchgeführt werden, was theoretisch mehr als 15 Plastikflaschen zu je 500 ml Händedesinfektionsmittel entspricht. Allein die vereinfachte klinikinterne Logistik und der reduzierte ökologische Fußabdruck für die Anlieferung zeigen kleine innovative Bausteine auf dem Weg hin zu einer grünen Anästhesie.

Ökologie in der Gegenwart – forciertes Zuwarten?

Ökologie in der Anästhesiologie hat viele Facetten und ist nicht auf den Einsatz volatiler Anästhetika beschränkt. Auch Müllvermeidung und sortenreine Mülltrennung beschreiben bei weitem nicht unsere Ansatzmöglichkeiten in der Anästhesie, Schmerztherapie, Intensiv- und Notfallmedizin. Allerdings brauchen geeignete (Teil-)Lösungen aus der Industrie aufgrund ihrer Komplexität und hoher regulatorischer Hürden bei den Zulassungsprozessen Zeit. Zeigen Sie die notwendige Awareness im Spagat zwischen der individualisierten Anästhesiologie und der Ökologie, haben Sie Mut zur Differenzierung, bleiben Sie im kritischen Dialog und glauben Sie keinen einfachen Antworten.

Literatur

- Marx T: Pollution of the environment and the workplace with anaesthetic gases. *International Anesthesiology Clinics* 2001;39(T2):15–28
- Kümmerer K: Drugs in the environment: emission of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospitals in relation to other sources – a review. *Chemosphere* 2001;45(6,7):957–969
- Stuer-Lauridsen F, Birkved M, Hansen LP, Lutzhoft HC, Halling-Sorensen B: Environmental risk assessment of human pharmaceuticals in Denmark after normal therapeutic use. *Chemosphere* 2000;40(7):783–793
- Mullot JU, Karolak S, Fontova A, Levi Y: Modeling of hospital wastewater pollution by pharmaceuticals: first results of Mediflux study carried out in three French hospitals. *Water Sci Technol* 2010;62(12):2912–2919
- Umweltbundesamt 2023: Rigoletto-Datenbank zur Information von wassergefährdeten Stoffen. <https://web-rigoletto.uba.de/Rigoletto/Home/Search> (Zugriffsdatum: 28.05.2023)
- Mückter H: Intravenous anaesthetics in the environment – an update. *Eur J Anaesthesiol* 2000;17(20):20
- Cockshott ID: Propofol (Diprivan) pharmacokinetics and metabolism – a review. *Postgrad Med J* 1985;61(suppl 3):45–50
- Kühn-Birett D: Phenol. In: Kuhn B (Hrsg.): *Merkblätter gefährlicher Arbeitsstoffe*. EcoMed München 1985:195–218
- Gartieser S, Kümmerer K, Erbe T, Brinker S: AOX-Emissions from hospitals into municipal waste water. *Chemosphere* 1998;36(11):2437–2445
- Mückter H: Intravenous anaesthetics in the environment – an update. *Eur J Anaesthesiol* 2000;17(20):20
- Falås P, Andersen HR, Ledin A, Jansen JIC: Occurrence and reduction of pharmaceuticals in the water phase at Swedish wastewater treatment plants. *Water Science and Technology* 2012;66(4):783–791. DOI: 10.2166/wst.2012.243
- World Federation of Societies of Anaesthesiologists Global Working Group on Environmental Sustainability in Anaesthesia: Principles of environmentally-sustainable anaesthesia: a global consensus statement from the World Federation of Societies of Anaesthesiologists. *Anaesthesia* 2022;77:201–212
- Hinterberg J, Beffart T, Gabriel A, Holzschneider M, Tartler TM, Schafer MS, Kienbaum P: Efficiency of inhaled anaesthetic recapture in clinical practice. *Br J Anaesth* 2022;129(4):e79–e81
- Brücken A, Coburn M, Rex S et al: Aktuelle Entwicklungen in der Xenonforschung. *Anaesthesist* 2010;59:883–895
- Sanders RD, Maze M: Xenon: from stranger to guardian. *Curr Opin Anaesthesiol* 2005;18:405–411
- Banks P, Franks NP, Dickinson R: Competitive inhibition at the glycine site of the N-methyl-D-aspartate receptor mediates xenon neuroprotection against hypoxia-ischemia. *Anesthesiology* 2010;112:614–622
- 2014 ESC/ESA Guidelines on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management: The Joint Task Force on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Anaesthesiology (ESA). *European Heart Journal* 2014;35:2383–2431. DOI: 10.1093/eurheartj/ehu282
- Antonov AA, Ershova TA: Retention of the skill of adaptive biocontrol of cortical bioelectric activity synchronization in argon-nitrogen-oxygen atmosphere with different oxygen concentrations. *Hum Physiol* 2011;37:883e7
- Pagel PS, Krolikowski JG, Shim YH, Venkatapuram S, Kersten JR, Weihrauch D, et al: Noble gases without anesthetic properties protect myocardium against infarction by activating prosurvival signaling kinases and inhibiting mitochondrial permeability transition in vivo. *Anesth Analg* 2007;105:562–9
- Grüne F, Kazmaier S, Hoeks SE, Stolker RJ, Coburn M, Weyland A: Argon does not affect cerebral circulation or metabolism in male humans.

PLoS One 2017;12(2):e0171962. DOI: 10.1371/journal.pone.0171962

21. Nespoli F, Redaelli S, Ruggeri L, Fumagalli F, Olivari D, Ristagno G: A complete review of preclinical and clinical uses of the noble gas argon: Evidence of safety and protection. *Ann Card Anaesth* 2019;22(2):122–135. DOI: 10.4103/aca.ACA_111_18
22. Statistisches Bundesamt (2014): Abfallbilanz (Abfallaufkommen /-verbleib, Abfallintensität, Abfallaufkommen nach Wirtschaftszweigen). https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Publikationen/Downloads-Abfallwirtschaft/abfallerzeugung-5321601149004.pdf?__blob=publicationFile (Zugriffsdatum: 28.05.2023)
23. Krömker W et al: (2017) Händedesinfektionsvorrichtung mit Plasma- und Aerosolgenerator. <https://patents.google.com/patent/EP3041518B1/de> (Zugriffsdatum: 27.05.2023).

Korrespondenzadresse

**Prof. Dr. med. Dr. phil.
Kai Zacharowski,
ML FRCA FESAIC**



Klinik für Anästhesiologie,
Intensivmedizin und Schmerztherapie
Goethe-Universität Frankfurt
Theodor-Stern-Kai 7
60590 Frankfurt am Main,
Deutschland

Tel.: 069 6301 5998

E-Mail: zacharowski@med.uni-frankfurt.de

ORCID-ID: 0000-0002-0212-9110