

In der Anästhesie wird ein Großteil der Treibhausgase frei, die ein Krankenhaus ausstößt.



Foto: mauritius images/Oliver Borchert

## Klimaschutz

# Nachhaltigkeit in der Anästhesie

Ein großer Anteil der Treibhausgase, die das deutsche Gesundheitswesen verursacht, entstehen in der Anästhesie. Dabei stehen Alternativen für besonders klimaschädliche Anästhetika zur Verfügung. Mit ihnen können Anästhesisten den Ausstoß von Treibhausgasen deutlich senken.

Die Folgen des anthropogenen Klimawandels beeinflussen auch in Deutschland längst die Gesundheit des Einzelnen (1). Gleichzeitig ist das Gesundheitssystem global für vier bis fünf Prozent der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) verantwortlich und übertrifft damit die Summe aus Flug- und Schiffsverkehr (2).

Dieser Einfluss ist in hoch technisierten Gesellschaften sogar noch höher: In Deutschland addieren sich die Emissionen aus dem Gesundheitswesen auf 0,71 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>e) – also die zusammengefassten Erwärmungswirkungen der unterschiedlichen Treibhausgase – pro Kopf und Jahr,

was aktuell etwa acht Prozent der gesamten THG-Emissionen entspricht (3–5). Die Bereiche Anästhesie und Intensivmedizin verursachen davon etwa die Hälfte, insbesondere auch durch Inhalationsanästhetika (6).

### Jeder kann einen Beitrag leisten

Es liegt also nahe, zur Erfüllung nationaler Reduktionsziele vor allem im operativen Bereich Einsparmaßnahmen umzusetzen. Dazu kann insbesondere im OP jeder einzelne Anästhesist durch Umsetzung der Empfehlungen des Forums „Nachhaltigkeit in der Anästhesie“ der Deutschen Gesellschaft für Anesthesiologie und Intensivmedizin (DGAI)

und des Berufsverbands Deutscher Anästhesisten (BDA) beitragen und auf diese Weise seinen beruflichen Klimaeinfluss um bis zu 70 Prozent reduzieren (7–9). Das aktuelle Konsensuspapier des Weltverbandes der Anästhesiengesellschaften fordert von Anästhesisten zudem nicht nur den nachhaltigen Umbau von klinischer Versorgung, Forschung und Lehre, sondern auch, dass sie in ihren nationalen Gesundheitssystemen dabei eine Führungsrolle übernehmen (10). Ein Vergleich verschiedener Gesundheitssysteme zeigt ein immenses Einsparpotenzial: Eine Katarakt-OP führt in Indien zu sechs Kilogramm CO<sub>2</sub>e-Emissionen und in Großbritannien zu 180 Kilo-

gramm – bei vergleichbaren Komplikationsraten und Ergebnissen (2).

Mächtige Hebel sind im operativen Bereich der Verzicht auf beziehungsweise der sparsame Umgang mit inhalativen Narkotika sowie eine sinnvolle Steuerung der Lüftungstechnik im OP (11). Grundsätzlich werden THG-Emissionen drei Kategorien, den sogenannten Scopes, zugerechnet. Scope 1 umfasst Emissionen aus Quellen im eigenen Unternehmen, Scope 2 Emissionen aus Energiequellen, die eingekauft werden, und Scope 3 beinhaltet Emissionen, die außerhalb des eigenen Unternehmens entstehen. THG-Emissionen im OP werden vor allem Scope 1 (Kraftstoffverbrennung und flüchtige Emissionen) und Scope 2 (Strom- und Wärmebezug) zugerechnet. Damit sind sie durch individuelle beziehungsweise institutionelle Verhaltensänderung im OP beeinflussbar (12).

### Sevofluran statt Desfluran

Ein Vergleich der THG-Emissionen an drei universitären Operationszentren in den USA, Kanada und England hat ergeben, dass die nordamerikanischen Kliniken für Allgemeinanästhesien hauptsächlich Desfluran und zusätzlich teilweise Distickstoffmonoxid ( $N_2O$ ), also Lachgas, verwenden, was sich im hohen Anteil dieser Substanzen von 63 beziehungsweise 51 Prozent am jeweiligen  $CO_2e$ -Fußabdruck deutlich bemerkbar macht (11, 13). Das britische Zentrum verzichtet komplett auf Desfluran und Lachgas, sodass inhalative Anästhetika hier nur einen Anteil von vier Prozent an den THG-Emissionen ausmachen. Im Rahmen des KLIK-green-Projekts ausgebildete Klimamanager haben in sechs von 250 teilnehmenden deutschen Krankenhäusern (darunter 140 mit OP-Betrieb) entsprechende Umstellungen durchgeführt (14). KLIK green ist am Universitätsklinikum Augsburg (UKA) in das multimodale, vom Vorstand ins Leben gerufene Großprojekt „University Medicine Augsburg goes green“ (UMAGG) eingebettet. Anstelle von Desfluran wird hier seit Mitte 2021 nur noch das um ein

Vielfaches weniger klimawirksame Sevofluran verwendet (15). Relevante pharmakokinetische Nachteile konnten am UKA dabei auch bei adipösen Patienten mit einem BMI von über 40 bisher nicht beobachtet werden: Sowohl die Aufwachzeiten als auch die Aufenthalte im Aufwachraum haben sich bei diesen Patienten durch die Verwendung von Sevofluran nicht verlängert. Betrachtet man die nahezu deckungsgleichen Eliminationskurven von Sevofluran und Desfluran aus der Atemluft nach Beendigung der Gaszufuhr bei üblichen Eingriffsdauern, ist das auch nicht zu erwarten (16–18).

In klinischen Dosierungen ist das in der Atmosphäre sehr langlebige Lachgas bezüglich seiner Klimaschädlichkeit dem Desfluran ver-



Das Anästhetikum Sevofluran hat einen deutlich kleineren  $CO_2e$ -Fußabdruck als andere Anästhetika wie Desfluran.

gleichbar (19). Anlagen für  $N_2O$  wurden in modernisierten deutschen Operationssälen aber zumeist nicht mehr verbaut – so auch nicht am UKA. Allerdings wird ein Lachgas-Sauerstoff-Gemisch in der Geburtshilfe, bei Kindern und von Zahnärzten noch relativ häufig verwendet, wenn kein Anästhesist zur Verfügung steht. Klimaschonende Alternativen zu Inhalationsanästhesien sind zum einen die Regionalanästhesie und zum anderen die total intravenösen Anästhesien

(TIVA) (20). Untersuchungen der gängigsten Inhalationsanästhesien sowie einer Propofolnarkose kamen zu dem Ergebnis, dass der Klimaeffekt einer TIVA gegenüber Inhalationsanästhesien praktisch vernachlässigbar ist (21). Um die Zeit von der Anästhesieeinleitung bis zur Einfahrt in den OP-Saal zu überbrücken, ist es daher sinnvoll, zumindest in dieser Phase Narkosegase durch Propofol zu ersetzen. Das Systemvolumen der Narkosegeräte muss auch für eine kurze Überbrückung komplett mit Gas gefüllt werden, das nach dem Verlassen des Einleitungsplatzes nutzlos in die Atmosphäre entweicht. Einige Autoren fordern daher den Verzicht auf inhalative Anästhetika (22, 23). Wer das nicht möchte, kann zur Reduktion der negativen Klimawirkung Aktivkohle-Auffangsysteme für Desfluran und Sevofluran direkt am Narkosegerät installieren, sie anschließend desorbieren lassen und mit einer Recovery-Rate von circa 95 Prozent wieder der Verwendung am Patienten zuführen. Diese Maßnahme wurde von KLIK-green-Klimamanagern an vier von 140 teilnehmenden Einrichtungen mit OP-Betrieb durchgeführt (14).

### Einfluss des Frischgasflusses

Nach vielen Jahren der Forschung immer noch kaum über eine experimentelle Anwendung hinausgekommen ist das seltene und relativ teure Edelgas Xenon (24). Aufgrund von wesentlichen medizinischen und ökologischen Vorteilen konnte zwar bereits 2005 eine Zulassung in Deutschland erwirkt werden, aber die Technologie für eine Rückgewinnung und Wiederverwendung ist derzeit nur als Patent vorhanden und nicht in Serienproduktion verfügbar (25). Der Versuch der Neueinführung von Methoxyfluran in Deutschland als Schmerzmittel für den Rettungsdienst geht da insbesondere bei besser wirksamen Alternativen in die vollkommen entgegengesetzte Richtung (26, 27). Trotz integriertem Absorber in das Applikationssystem wird vor der Arbeitsplatzbelastung in der Notaufnahme be-

ziehungsweise im Rettungswagen gewarnt; eine umweltgerechte Entscheidung ist nicht vorgesehen (28).

Einen sehr großen Einfluss auf den Verbrauch und die Freisetzung inhalativer Anästhetika in die Umwelt hat der Frischgasfluss. Es handelt sich dabei um einen linearen Zusammenhang: Eine Verdopplung des Frischgasflusses bewirkt eine Verdopplung der freigesetzten Inhalationsanästhetika. Ein Vergleich der Emissionen eines aktuellen Mittelklasse-Pkw mit Verbrennungsmotor mit der Freisetzung von CO<sub>2</sub>e während eines Arbeitstags im OP unter Verwendung verschiedener Volatila und Frischgasflüsse veranschaulicht das gut (29): Bei minimalem Frischgasfluss unter 0,5 Liter pro Minute wird idealerweise nur der vom Patienten verbrauchte Sauerstoff ins Narkosekreisläufe zugegeben und das ausgeatmete CO<sub>2</sub> im Atemkalk komplett gebunden. In diesem Idealfall, der mit einem handelsüblichen halbgeschlossenen Narkosesystem erst erreicht wird, wenn das System – bestehend aus Patient und Narkosegerät – „aufgesättigt“ ist, entspricht ein Arbeitstag mit Sevofluran-Inhalationsanästhesie einer Fahrstrecke von etwa 20 Kilometern. Verwendet man hingegen Desfluran unter den gleichen Bedingungen, beträgt die entsprechende Fahrstrecke knapp 900 Kilometer (7). Bei einem realistischen durchschnittlichen Frischgasfluss von einem Liter pro Minute verdoppeln sich die potenziellen Fahrstrecken in etwa und steigen bei weiterer Erhöhung des Frischgasflusses nahezu linear mit diesem an.

### Bei Raumluftanlagen ansetzen

Der andere große Hebel zur Einsparung von Treibhausgasen im OP ist die Absenkung der Leistung der Raumluftanlagen in den Ruhebetrieb oder deren Abschalten in den nicht im Notfallbetrieb benötigten OP-Sälen außerhalb der Regelarbeitszeit. Dies ist freilich eine organisatorische Maßnahme, die innerhalb eines Krankenhauses sorgfältig abgestimmt werden muss und die niemand im Alleingang umsetzen kann. Aus diesem Grund ist es sinn-

voll, den ökologischen Umbau an einer Stelle zentral zu koordinieren, wie es am UKA durch UMAGG geschieht. Das kanadische OP-Zentrum aus der vorgenannten Studie erreichte durch diese Maßnahme eine Reduktion der THG-Emissionen um 50 Prozent (11). Das Universitätsklinikum Dresden hat diese Option bereits erfolgreich implementiert, den Erfolg quantifiziert und hygienische Bedenken ausgeräumt. Dafür gab es mehrere Auszeichnungen (30). Zwölf teilnehmende Akutkrankenhäuser des KLIK-green-Projektes führen derzeit ähnliche Maßnahmen durch.

Jeden einzelnen OP-Saal durchströmen pro Stunde bei aktuellen Lüftungsanlagen, die Keimarmut durch „Laminar Air Flow“ ermöglichen, circa 3 000 bis 9 000 Kubikmeter Luft, die gefiltert und klimatisiert – das heißt geheizt oder gekühlt und gegebenenfalls befeuchtet – werden muss. Das ist ein extrem energieaufwendiger Prozess. So hat der Vergleich der drei universitären Operationszentren in den USA, Kanada und England gezeigt, dass für die Beheizung der OP-Einheiten bauartabhängig 2 000 bis über 6 000 Megawattstunden pro Jahr aufgewendet werden mussten – die größte Energiemenge, die in den Operationszentren aufgewendet werden musste. Lüftung und Kühlung allein verbrauchten zusammengekommen je nach Energieeffizienz der jeweiligen Anlage etwa 500 bis 2 000 Megawattstunden pro Jahr. Der Energieverbrauch aller weiteren elektrischen Verbraucher im OP (PCs, Beleuchtung, Pumpen, Kauter, Monitoring, Narkosegeräte, Infusions- und Konvektionswärmegegeräte etc.) zusammengekommen war demgegenüber praktisch vernachlässigbar (11).

Ein übliches Problem bei der Quantifizierung des Effekts einer solchen Lastabsenkung ist die Tatsache, dass beim Bau der OP-Einheiten eine getrennte Erfassung der Verbrauchsdaten von Heizung, Lüftung und Klimatechnik im OP gegenüber dem restlichen Krankenhaus nicht vorgesehen wurde und daher für eine Vergleichsmessung

vor und nach einer Intervention zunächst nachgerüstet werden muss – wofür eine Unterbrechung des Betriebs erforderlich werden kann und finanzielle Mittel zur Verfügung gestellt werden müssen (3). Moderne Techniken wie Wärmerückgewinnung verbessern zwar die Effizienz der Anlagen, erschweren aber gleichzeitig überschlagsmäßige Verbrauchsschätzungen, wobei man davon ausgehen muss, dass die OP-Bereiche pro Quadratmeter Fläche drei bis sechs Mal so viel Energie verbrauchen wie der Rest eines Krankenhauses (11).

### Erhebliches Potenzial

Die THG-Emissionen für Ver- und Entsorgung von Verbrauchsmaterialien (Scope 3) lagen in den drei untersuchten OP-Einrichtungen in den USA, Kanada und England zwischen 536 und 650 Tonnen CO<sub>2</sub>e pro Jahr und entsprachen damit einem Anteil von zwölf bis 20 Prozent des Gesamtfußabdrucks der Einrichtungen. Zweifellos gibt es hier ein erhebliches Optimierungspotenzial (8), wofür auch konkrete Handlungsempfehlungen im Positionspapier von DGAI und BDA ausgesprochen werden (7). Allerdings erfordern wirkungsvolle Umstellungen im Gegensatz zu den vorgenannten Maßnahmen bei der Vielzahl von eingesetzten Produkten zahlreiche kleinschrittige, detaillierte und aufwendige Einzelentscheidungen, die außerdem interprofessionell sorgfältig abgestimmt werden müssen. Vorbildhaft hat der englische National Health Service (NHS) im vergangenen Jahren 1,3 Megatonnen CO<sub>2</sub> eingespart, indem er unter anderem seine Zulieferer auf die Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien verpflichtet hat (31). Auch in Deutschland bieten erste Dienstleister den Krankenhäusern Hilfestellung auf diesem komplexen Gebiet an (32).

*Dr. med. Daniel Bolkenius,  
Prof. Dr. med. Axel R. Heller*

*Universitätsklinikum Augsburg, Klinik für  
Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin*

Literatur im Internet:  
[www.aerzteblatt.de/lit5121](http://www.aerzteblatt.de/lit5121)  
oder über QR-Code.



Zusatzmaterial Heft 51–52/2021, zu:

Klimaschutz

# Nachhaltigkeit in der Anästhesie

Ein großer Anteil der Treibhausgase, die das deutsche Gesundheitswesen verursacht, entstehen in der Anästhesie. Dabei stehen Alternativen für besonders klimaschädliche Anästhetika zur Verfügung. Mit ihnen können Anästhesisten den Ausstoß von Treibhausgasen deutlich senken.

## Literatur

1. Traidl-Hoffmann C: Klimaresilienz – Weg der Zukunft, Deutsches Ärzteblatt 2020; 117 (33–34) 1332–4.
2. Bhopal A, Norheim OF: Priority setting and net zero healthcare: how much health can a tonne of carbon buy? *BMJ* 28. Oktober 2021;375: e067199. doi: 10.1136/bmj-2021-067199.
3. Dickhoff A, Grah C, Schulz C, Weimann E (eds): Klimagerechte Gesundheitseinrichtungen – Rahmenwerk, Version 1.0, Deutsche Allianz Klimawandel und Gesundheit (KLUG). <https://zenodo.org/record/5024577/files/Klimagerechte%20Gesundheitseinrichtungen%20-%20Rahmenwerk.pdf?download=1> (last accessed on 21 August 2021).
4. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung> (last accessed on 19 November 2021).
5. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/energieflusse-emissionen/Tabellen/treibhausgase.html> (last accessed on 19 November 2021).
6. Koch S, Pecher S: Neue Herausforderungen für die Anästhesie durch den Klimawandel. *Der Anästhesist* 2020; 69: 453–62.
7. Schuster M, Richter H, Pecher S, Koch S, Coburn M: Positionspapier mit konkreten Handlungsempfehlungen der DGAI und des BDA: Ökologische Nachhaltigkeit in der Anästhesiologie und Intensivmedizin. *Anästh Intensivmed* 2020; 61: 329–39.
8. Conway N, Baumann A, Gucwa N, Schneider G, Schneider F: Perioperative Medizin: Die klimafreundlichere Narkose. *Deutsches Ärzteblatt* 2020; 117: A-1258/B-1064. <https://www.aerzteblatt.de/archiv/214435/Perioperative-Medizin-Die-klimafreundlichere-Narkose>.
9. Richter H, Weixler S, Schuster M: Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Anästhesie, wie die Wahl volatiler Anästhetika die CO<sub>2</sub>-Emission einer anästhesiologischen Klinik beeinflusst. *Anästh Intensivmed* 2020; 61: 154–61.
10. White SM, Shelton CL, Gelb AW, Lawson C, McGain F, Muret J, Sherman JD, representing the 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* 1. November 2021. doi: 10.1111/anae.15598. Online ahead of print.
11. MacNeill A, Lillywhite R, Brown CJ: The impact of surgery on global climate: a carbon footprinting study of operating theatres in three health systems. *Lancet Planet Health* Dezember 2017; 1 (9): e381–8.
12. Hahn U, Herrmann M, Traidl-Hoffmann C, Schmincke E, Schulz CM: Für eine klimagerechte Gesundheitsversorgung in Deutschland (Version 1.0). KLUG Deutsche Allianz Klimawandel und Gesundheit. *Zenedo* 2021; <https://doi.org/10.5281/zenodo.4610637>.
13. Özelsel TJ, et al: (2019): „If I had a million dollars ...“: The curious incident of a city, a forest and sustainable anesthesia. *Can J Anesth* April 2019; 66 (4): 474–5.
14. <https://www.klik-krankenhaus.de/startseite> (last accessed on 25 November 2021).
15. Özelsel TJ, Sondekoppam RV, Buro K (2019): The future is now – it's time to re-think the application of the Global Warming Potential to anesthesia. *Can J Anesth* November 2019; 66 (11): 1291–5.
16. Taheri S, Eger EI 2<sup>nd</sup>: A demonstration of the concentration and second gas effects in humans anesthetized with nitrous oxide and desflurane. *Anesth Analg* September 1999; 89 (3): 774–80.
17. Yasuda N, Lockhart SH, Eger EI 2<sup>nd</sup>, Weiskopf RB, Johnson BH, Freire BA, Fassouliki A: Kinetics of desflurane, isoflurane, and halothane in humans. *Anesthesiology* März 1991; 74 (3): 489–98.
18. Yasuda N, Lockhart SH, Eger EI 2<sup>nd</sup>, Weiskopf RB, Liu J, Laster M, Taheri S, Peterson NA: Comparison of kinetics of sevoflurane and isoflurane in humans. *Anesth Analg* März 1991; 72 (3): 316–24.
19. Muret J, Fernandes TD, Gerlach H, Imberger G, Jörnvall H, Lawson C, Gain F, Mortimer F, Pauchard JC, Pierce T, Shinde S, Swinton F, Williams L: Environmental impacts of nitrous oxide: no laughing matter! *Br J Anaesth* 2019; e481–2.
20. Kuvadia M, Cummis CE, Liguori G, Wu CL: „Green-gional“ anesthesia: the non-polluting benefits of regional anesthesia to decrease greenhouse gases and attenuate climate change. *Reg Anesth Pain Med*. Spetember 2020; 45 (9): 744–5. doi: 10.1136/rapm-2020-101452. Epub 16. Juni 2020.
21. Sherman J et al.: Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Anesthetic Drugs. *Anesth Analg* 2012; 114 (5): 1086–90.
22. Özelsel TJ, Sondekoppam RV, Ip VHY, Tsui BCH: Redefining the 3 Rs (reduce, refine, replace) of sustainability to minimize the environmental impact of inhalational anesthetic agents. *Can J Anesth* März 2019; 66 (3): 249–54.
23. Koch S, Toussaint S, Özelsel T: Das „Global Warming Potential“ inhalativer Anästhetika – Stoppt Desfluran. *AINS* 2020; 55: 144–6.
24. Reyle-Hahn M, Rossaint R: Xenon – ein neues Anästhetikum. *Anaesthesist* Oktober 2000; 49 (10): 869–74.
25. Korsunsky G: Xenon. *Int Anesthesiol Clin* 2015; 53 (2): 40–54.
26. Coffey F, Wright J, Hartshorn S, Hunt P, Locker T, Mirza K, Dissmann P: STOP!: a randomised, double-blind, placebo-controlled study of the efficacy and safety of methoxyflurane for the treatment of acute pain. *Emerg Med J* August 2014;31 (8): 613–8.
27. Middleton PM, Simpson PM, Sindair G, Dobbins TA, Math B, Bendall JC: Effectiveness of morphine, fentanyl, and methoxyflurane in the prehospital setting. *Prehosp Emerg Care* Oktober–Dezember 2010; 14 (4): 439–47.
28. Grindlay J, Babl FE: Review article: Efficacy and safety of methoxyflurane analgesia in the emergency department and prehospital setting. *Emerg Med Australas* Februar 2009; 21 (1): 4–11.
29. Ryan SM, Nielsen CJ: Global warming potential of inhaled anesthetics: application to clinical use. *Anesth Analg* 2010; 111: 92–8.
30. <https://www.uniklinikum-dresden.de/de/dasklinikum/umwelt> (last accessed on 25 November 2021).
31. Schuster M: „Das Wirtschaftlichkeitsgebot muss von einem Nachhaltigkeitsgebot flankiert werden“. Interview im Deutschen Ärzteblatt vom 4. November 2021 in der Rubrik Ärzteschaft.
32. <https://www.zukunft-krankenhaus-einkauf.de/> (last accessed on 19 November 2021).