

Leserbrief und Stellungnahme zum Beitrag:

Der CO₂-Fußabdruck in der Anästhesiologie – Lediglich eine Frage des ökologischen Bewusstseins?

(Anästh Intensivmed 2020;61:154–161)

Leserbrief

Herr Professor Martin Schuster und Mitarbeiter erläutern in der Mai-2020-Ausgabe von Anästhesiologie & Intensivmedizin die Bedeutung der Anästhesiologie für CO₂-Emissionen, die globale Erderwärmung und berichten von den an ihrer Klinik durchgeführten Maßnahmen zur Reduktion dieser Emissionen [1]. In diesem Kontext erfahren inhalative Anästhetika zu Recht Aufmerksamkeit, weil sie, in die Erdatmosphäre freigesetzt, zur Erderwärmung beitragen. Dem Desfluran kommt aufgrund seiner chemischen Stabilität die relativ größte Bedeutung zu. Sein „Global Warming Potential“, berechnet auf 100 Jahre, ist etwa 15–20-fach größer als das des Sevoflurans. Lachgas und chloridhaltige inhalative Anästhetika (Isofluran) zerstören darüber hinaus die Ozonschicht unseres Planeten.

Aus diesen ökologischen Erwägungen beschloss man an den Kliniken Landkreis Karlsruhe mit über 11.000 Anästhesien pro Jahr die Substitution des inhalativen Anästhetikums Desfluran durch Sevofluran. Im ersten Jahr nach dieser Entscheidung wurde der Desfluranverbrauch hocheffektiv von 77,8 l in 2017 auf 4,3 l in 2018 gesenkt. Diese Einschränkung des jährlichen Desfluranverbrauchs im Jahr 2018 senkt das in der Anästhesiologie erzeugte CO₂-Äquivalent um 271,8 auf 126,4 t. Im Jahr 2020 ist Desfluran an beiden Standorten aus ökologischen Überlegungen nicht mehr in Verwendung.

Zunächst möchten wir die Folgen des Desfluranmoratoriums auf das CO₂-Äquivalent relativieren. Zur Veranschaulichung kann man das eingesparte CO₂-Äquivalent in Relation zur CO₂-Freisetzung durch menschliche Atmung setzen. Dabei ist eine Einsparung um annähernd 300.000 kg CO₂ pro Jahr vergleichbar mit der jährlichen CO₂-Produktion von 30 Erwachsenen und von viel geringerer Relevanz als zumindest von uns erwartet.

Vor diesem Hintergrund bedarf ein immer begrüßenswertes, ökologisches Bewusstsein auch der Betrachtung potenzieller Risiken. Sollten wir ganz auf inhalative Anästhetika oder vielleicht nur auf das Desfluran verzichten?

1. In einem pragmatischen Ansatz ist die Durchführung total intravenöser Anästhesien (TIVA) die einzige verbreitete Alternative der Allgemeinanästhesie. Dabei werden zur Hypnose Propofol und zur Analgesie ein Opioid, gegebenenfalls ein regionales Anästhesieverfahren eingesetzt. Allerdings erscheint die TIVA nur vordergründig ökologisch sinnvoll, da neben der Entsorgungsproblematik der zur Verabreichung eingesetzten Verbrauchsmaterialien schon vor Jahren über toxische, phenolische Propofol-Metabolite im Grundwasser berichtet wurde. Die biologischen Implikationen dieser Propofol-Metabolite sind erheblich und betreffen unterschiedliche Bereiche des Lebens [2].

Interessenkonflikt

P. Kienbaum hat in den letzten zwei Jahren die Firmen Air Liquide und Baxter beraten sowie von der Firma Baxter Vortragshonore erhalten.

M. Winterhalter gibt an, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Auch die Autoren der Originalarbeit sowie der Stellungnahme – H. Richter, S. Weixler und M. Schuster – erklären, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

2. Inhalative Anästhetika weisen organoprotektive Eigenschaften auf, deren Vorteile insbesondere bei kardialen Risikopatienten in anspruchsvollen Situationen (insbesondere Operationen mit Herz-Lungen-Maschine) aus unserer Sicht zweifelsfrei bewiesen sind [3,4]. Gleichzeitig sind alle Patienten unter inhalativer Anästhesie kreislaufstabiler als unter der zur inhalativen Anästhesie alternativen total intravenösen Anästhesie mit Propofol (TIVA). Warum sollte man behandlungsbedürftige, mit einer erhöhten Letalität verbundene Hypotensionen riskieren, wenn Alternativen zu deren Vermeidung zur Verfügung stehen [3,4]?
3. Patienten nach inhalativer Anästhesie haben im Vergleich zur TIVA ein geringeres Risiko für postoperative pulmonale Komplikationen, die Morbidität und Letalität der Behandlung ist bei Gabe inhalativer Anästhetika signifikant verringert [3,4].
4. Auf Grund der geringen Löslichkeit im Körper hat Desfluran von allen halogenierten inhalativen Anästhetika die günstigsten pharmakokinetischen Eigenschaften. Daraus resultiert im Vergleich zu Sevofluran, Isofluran und TIVA nicht nur ein rasches, präzises Erwachen aus der Anästhesie, sondern auch das vollständige Wiedererlangen von Schutz- und Schluckreflexen unmittelbar nach Anästhesieausleitung [5]. Bei dieser im Kontext der Erholung nach neuromuskulärer Blockade sehr gut etablierten Surrogatvariablen für Ventilation und Aspirationsrisiko werden vollständig erholte Schutz- und Schluckreflexe zum Zeitpunkt der Anästhesieausleitung zur Optimierung der Patientensicherheit seit Jahren gefordert [6]. Damit wäre ein Mechanismus beschrieben, der die niedrigere Inzidenz postoperativer pulmonaler Komplikationen assoziiert mit der Gabe moderner inhalativer Anästhetika erklären könnte.
5. In Kenntnis der klinisch relevanten Vorteile inhalativer Anästhetika, die besonders ausgeprägt bei Risikokonstellationen nachweisbar sind, fällt es

uns schwer zu rechtfertigen, warum man bei weniger kranken Patienten auf diese Eigenschaften verzichten sollte.

6. Lieferengpässe nicht nur in SARS-CoV-2-Zeiten haben uns schmerzhaft gelehrt, dass eine Einschränkung der Arzneimittelauswahl durch Verzicht auf wirkungsvolle, alternativ einsetzbare Arzneimittel strategisch problematisch sein kann. Konkret würde die Nutzung eines einzigen inhalativen Anästhetikum bei seinem Lieferengpass dazu zwingen, alternative inhalative Anästhetika sofort, möglichst mit Hilfe eines hoffentlich verfügbaren Vapors, trotz begrenzter klinischer Erfahrung einzusetzen. Die Durchführung einer TIVA bei allen Patienten erscheint nicht nur vor dem Hintergrund der kontingentierte Liefermengen problematisch.

Zusammenfassend werden zur Kontrastierung des ökologischen motivierten Moratoriums zahlreiche medizinische und strategische Argumente gegen den umfassenden Verzicht auf inhalativer Anästhetika oder einer Einschränkung des vorhandenen Portfolios aus Sevofluran und Desfluran diskutiert.

Glücklicherweise zeichnet sich hochaktuell eine Lösung dieses Zielkonfliktes zwischen Arzneimittelvorteil und Umweltnachteil ab: Seit kurzem sind Filtersysteme verfügbar, die mit hohem Wirkungsgrad und dezentralem Einsatz am Anästhesiegerät, inhalative Anästhetika aus der Abluft des Narkose- oder Beatmungsgerätes eliminieren und damit eine Freisetzung in die Atmosphäre weitestgehend verhindern [7]. Darüber hinaus können die in den Filtersystemen gebundenen Anästhetika zurückgewonnen werden. Für diesen Prozess ist das Desfluran am besten geeignet, da es im Gegensatz zum Sevofluran und Isofluran praktisch nicht im Organismus metabolisiert wird und auf Grund der geringen Löslichkeit bereits wenige Minuten nach Beendigung seiner Zufuhr größtenteils pulmonal eliminiert ist. Die mit Blick auf die Erderwärmung nachteilige chemische Stabilität sowie die geringe Löslichkeit des Desflurans erweisen sich

damit beim Recycling als große ökologische Vorteile. Mit Blick auf die Nachhaltigkeit in der Medizin wird Desfluran das zunächst einzige Arzneimittel sein, dass annähernd vollständig nach Einsatz während einer Allgemeinanästhesie rückgewonnen, aufbereitet und erneut in einem Kreislauf zur Verfügung gestellt werden kann.

Die geforderte Schärfung des ökologischen Bewusstseins in der Anästhesie ist damit durch Anwendung nachhaltigen Verfahren mit hoher Priorität zu fördern.

P. Kienbaum, Düsseldorf, und
M. Winterhalter, Bremen

Literatur

1. Richter H, Weixler S, Schuster M: Der CO₂-Fussabdruck in der Anästhesie. Wie die Wahl volatiler Anästhetika die CO₂-Emissionen einer anästhesiologischen Klinik beeinflusst. *Anästh Intensivmed* 2020;61:154–161
2. Kovarova J, Blahova J, Divisova L, Svobodova Z: Alkylphenol ethoxylates and alkylphenols: update, information on occurrence, fate and toxicity in aquatic environment. *Pol J Vet Sci* 2013;16:763–772
3. Hötzel A: Klinischer Stellenwert von total intravenöser Anästhesie (TIVA) und Inhalationsanästhesie. *Anästh Intensivmed* 2019;60:174–189
4. Uhlig C, Bluth t, Schwarz K, Deckert S, Heinrich L, DeHert S, Landoni G, Serpa Neto A, Schultz MJ, Pelosi P, Schmitt J, Gama de Abreu M: Effects of volatile anesthetics on mortality and postoperative pulmonary and other complications in patients undergoing surgery. *Anesthesiology* 2016;124:1230–1245
5. McKay RE, Hall KT, Hills N: The effect of anesthetic choice and neuromuscular management on speed of airway reflex recovery. *Anesth Analg* 2015;122:393–401
6. Kirmeier E, Eriksson LI, Lewald H, Jonsson Fagerlund M, Hoefl A, Hollmann M, Meistelman C, Hunter JM, Ulm K, Blobner M, POPULAR Contributors: Post-anaesthesia pulmonary complications after use of muscle relaxants (POPULAR): a multicenter, prospective observational study. *Lancet Respir Med* 2019;7:129–140
7. www.contrafluran.de

Stellungnahme zum Leserbrief

Wir bedanken uns bei den Kollegen Kienbaum und Winterhalter für ihre engagierte Replik. Gerne möchten wir auf die von Ihnen aufgeworfenen Aspekte etwas detaillierter eingehen.

Der angeführte Vergleich der CO₂-äquivalenten Emissionen durch Desfluran mit der Menge an jährlich pro Person abgeatmetem CO₂ führt in die Irre, da sich die Relevanz für die globale Erwärmung unterscheidet. Das vom Menschen und anderen Lebewesen abgeatmete CO₂ ist Teil des natürlichen Kohlenstoffkreislaufs. Es wurde zuvor in Form von Kohlenstoff über die Nahrung aufgenommen und wird nach Abgabe wieder von Pflanzen gebunden. Das in diesem natürlichen Kreislauf zirkulierende CO₂ bleibt somit weitgehend konstant. In Diskussionen um klimaschädliche CO₂-Emissionen sollte daher ausschließlich CO₂ betrachtet werden, welches zusätzlich zu der bereits im natürlichen Kreislauf vorhandenen Menge in die Atmosphäre abgegeben wird [1]. Diese zusätzlichen CO₂-Emissionen betragen in Deutschland 2017 pro Kopf und Jahr circa 11 t CO₂. Die beruflich bedingten Emissionen einer Anästhesist*in lagen in unserer Studie bei Verwendung von Desfluran zusätzlich bei 17,1 t, ohne Desfluran immer noch bei 5,4 t CO₂ äquivalenten Emissionen pro Kopf und Jahr. Wenn es unser gemeinsames Ziel ist, dass Europa bis 2050 klimaneutral werden soll, so müssen solche zusätzlichen Emissionen bis dahin auf Null reduziert werden [2,3]. Die Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin und der Berufsverband Deutscher Anästhesisten haben sich in dem aktuell erschienenen „Positionspapier zur Ökologische Nachhaltigkeit“ mit Nachdruck zum Ziel des klimaneutralen, nachhaltigen Gesundheitssystems bekannt [4].

Bezüglich der ökologischen Belastung durch Propofol sind Rückstände von Alkylphenolen und Alkylphenoethoxylaten in der Umwelt beschrieben, welche als Tenside vor allem in Industrie und Privathaushalten weltweit zum Einsatz

kommen [5]. Dennoch ist es inhaltlich korrekt, dass Propofol-Metabolite neben vielen anderen Medikamenten in Abwässern von Krankenhäusern nachweisbar sind [6]. Propofol hat in einer Umweltklassifikation von Pharmazeutika einen Hazard Score von 4 (auf einer Skala von 0 bis maximal 9). Es ist weder in Wasser noch unter anaeroben Bedingungen biologisch abbaubar [7]. Die in Abwässern nachweisbaren Rückstände sind jedoch in erster Linie auf eine nicht fachgerechte Entsorgung zurückzuführen, da Propofol im Körper rasch metabolisiert und zu wasserlöslichen, inaktiven Metaboliten umgebaut wird. Nur bis zu 3% werden unverändert über Urin und Stuhl ausgeschieden [8]. Um Rückstände in der Umwelt zu vermeiden, ist daher unbedingt auf eine korrekte Entsorgung von unverbrauchten Propofolresten zu achten. Die Entsorgung in den Abguss (und damit ins Abwasser) ist ökologisch inakzeptabel. Der Hersteller empfiehlt, dass Propofolreste einer Entsorgung durch Verbrennung zugeführt werden [9]. Im Alltag geschieht dies zum Beispiel dadurch, dass das Propofol auf etwas Zellstoff gespritzt und so gebunden im Müll entsorgt wird, welcher dann als Krankenhausmüll sachgerecht verbrannt wird. Diese Praxis scheint noch nicht flächendeckend umgesetzt zu werden. So fällt auf, dass die in Abwässern von unterschiedlichen Krankenhäusern gemessenen Propofolkonzentrationen variieren [6], was auf unterschiedliche Entsorgungspraxen zurückgeführt werden könnte. Auf eine korrekte Entsorgung am Arbeitsplatz muss daher von allen Anästhesistinnen und Anästhesisten unbedingt geachtet werden.

Im Vergleich von volatilen Anästhetika (VA) mit total-intravenösen Anästhesien (TIVA) weisen klinische Studien heterogene Ergebnisse auf. Inzwischen existieren jedoch zahlreiche Metaanalysen zum Thema. Das Durchführen einer TIVA führt zu einer Reduktion des Auftretens von PONV, zu einem verminderten Risiko für postoperative Agitation, zu einem geringeren postope-

rativen Schmerzerleben, einer besseren Schmerzkontrolle und damit zu größerer Patientenzufriedenheit. Auf der anderen Seite wird über ein schnelleres Wiedererlangen respiratorischer Fähigkeiten und kürzere Zeiten bis zur Extubation bei Verwendung von VA berichtet, die PACU-Zeiten sind nach Durchführen einer TIVA allerdings wiederum kürzer als nach Verwendung von VA. Ein Unterschied bezüglich intraoperativer, hämodynamischer Instabilität oder der Mortalität im Krankenhaus ist nicht evident [10]. Auch für ein hochbetagtes Patientenkollektiv gilt eine TIVA als sicher [11]. Hinsichtlich postoperativer, kardialer Ereignisse und Mortalität konnte auch bei Patienten mit KHK bei nicht-kardiologischen Eingriffen kein Unterschied zwischen TIVA und Sevoflurannarkosen festgestellt werden, [12] und selbst bei kardiologischen Eingriffen zeigte die größte hierzu durchgeführte randomisierte kontrollierte Studie keinen Vorteil für VA in Bezug auf die 1-Jahres-Überlebensrate postoperativ [13]. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass aktuell die Evidenz fehlt, TIVA oder VA aus medizinischer Indikation eindeutig zu bevorzugen [14].

Ähnliches gilt auch für die Verwendung der verschiedenen VA. Es besteht eine nur unbefriedigende Studienlage mit häufig kleinen Studiengruppen und unklarem klinischen Benefit der gefundenen Unterschiede. So erscheint es uns, dass die in experimentellen Studien teilweise nachweisbare verkürzte Aufwachphase nach Desfluran-Narkosen auch durch das frühere Ausdrehen des Vapors zu erreichen wäre. Und ob sich eine verkürzte Aufwachphase tatsächlich in kürzere Wechselzeiten überträgt, ist angesichts der Komplexität der Wechselprozesse höchst unklar [15]. Wir zumindest konnten keine relevante Veränderung der Wechselzeit feststellen, seit wir kein Desfluran mehr verwenden.

Angesichts der fehlenden Evidenz in Bezug auf das medizinische Outcome erschien es uns geboten, wegen des sehr eindeutigen Nachteils in ökologischer

Hinsicht auf Desfluran zukünftig zu verzichten, während wir Sevofluran unter Bedingungen des Minimal Flow weiterhin verwenden. Wie unsere Studie zeigt, können wir als Anästhesist*Innen durch die Wahl des VA erhebliche CO₂-Einsparungen erzielen, vermutlich hat keine andere Maßnahme in der persönlichen Entscheidungssphäre einen auch nur vergleichbaren Effekt.

Die Wiederaufbereitung und Wiederverwendung von VA stellt eine interessante Option dar. Das alleinige Anwenden von Filtersystemen genügt allerdings nicht, da die VA beim Entsorgen wieder freigesetzt werden. Es ist technisch bereits möglich, Sevofluran wiederzugewinnen und nach Destillation und Sterilisation erneut in der Patientenversorgung einzusetzen. VA könnten somit zukünftig als Präzedenzfall dienen, um auch recycelte Medikamente auf dem Markt zuzulassen und somit eine Kreislaufwirtschaft zu ermöglichen. Solche Systeme stehen auch in Deutschland kurz vor der Markteinführung. Sobald Recyclingsysteme von VA flächendeckender Standard sind, kann die Verwendung von VA aus ökologischen Aspekten neu bewertet werden.

Dr. Hannah Richter,
Simon Weixler und
Prof. Dr. Martin Schuster, Bruchsal

Literatur

- Rohwedder W. Atmen wir das Klima kaputt? Tagesschau; 2019 <https://www.tagesschau.de/faktenfinder/kohlendioxidatmung-brandner-101.html> (Zugriffsdatum: 05.06.2020)
- Umweltbundesamt. Treibhausgas-Emissionen in der Europäischen Union 2019 <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-der-europaeischen-union#textpart-1> (Zugriffsdatum: 19.12.2019)
- Richter H, Weixler S, Schuster M: Der CO₂-Fußabdruck der Anästhesie. Wie die Wahl volatiler Anästhetika die CO₂-Emissionen einer anästhesiologischen Klinik beeinflusst. *Anästh Intensivmed* 2020;61:154–161
- Schuster M, Richter H, Pecher S, Koch S, Coburn M: Positionspapier mit konkreten Handlungsempfehlungen: Ökologische Nachhaltigkeit in der Anästhesiologie und Intensivmedizin. *Anästh Intensivmed* 2020;61:329–339. DOI: 10.19224/ai2020.329
- Kovarova J, Blahova J, Divisova L, Svobodova Z: Alkylphenol ethoxylates and alkylphenols—update information on occurrence, fate and toxicity in aquatic environment. *Pol J Vet Sci* 2013;16(4):763–772
- 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
- Janusinfo: Propofol. Drug Therapeutic Committee and Health and Medical Care Administration of the Stockholm County Council. Stockholm: Drug Therapeutic Committee and Health and Medical Care Administration of the Stockholm County Council 2019 <https://www.janusinfo.se/beslutsstod/lakemedelochmiljo/pharmaceuticalsandenvironment/databasenvn/propofol.5.30a7505616a041a09b063eac.html> (Zugriffsdatum: 20.02.2020)
- Dinis-Oliveira RJ. Metabolic Profiles of Propofol and Fospropofol: Clinical and Forensic Interpretative Aspects. *Biomed Res Int* 2018;2018:6852857
- Sherman J, McGain F: Environmental Sustainability in Anesthesia. Pollution Prevention and Patient Safety. *Advances in Anesthesia* 2016;34:47–61
- Schraag S, Pradelli L, Alsaleh AJO, Bellone M, Ghetti G, Chung TL, et al: Propofol vs. inhalational agents to maintain general anaesthesia in ambulatory and in-patient surgery: a systematic review and meta-analysis. *BMC Anesthesiol* 2018;18(1):162
- Bushuven S, Heise D: Propofol up2date. Teil 2: Patientengruppen, unerwünschte Wirkungen und die Nachfolgesubstanz Fospropofol. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2013;48(7-8):444–451; quiz 52
- Giovanna AL, Schumacher P, Seeberger E, Studer W, Schuman R, Fassl J, et al: Randomized Comparison of Sevoflurane Versus Propofol to Reduce Perioperative Myocardial Ischemia in Patients Undergoing Noncardiac Surgery. *Circulation* 2012;126:2696–2704
- Landoni G, Lomivorotov VV, Nigro Neto C, Monaco F, Pasyuga VV, Bradic N, et al: Volatile Anesthetics versus Total Intravenous Anesthesia for Cardiac Surgery. *N Engl J Med* 2019;380(13):1214–1225
- Uhlig C, Bluth T, Schwarz K, Deckert S, Heinrich L, De Hert S, et al: Effects of Volatile Anesthetics on Mortality and Postoperative Pulmonary and Other Complications in Patients Undergoing Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. *Anesthesiology* 2016;124(6):1230–1245
- Schuster M, Bertheau S, Taube C, Bialas E, Bauer M: Überlappende Anästhesie-Einleitungen und perioperative Wechselzeiten. Eine Analyse von Häufigkeit und Zeitaufwand überlappender Wechsel in deutschen Krankenhäusern auf Basis von 54.750 Wechseln aus 43 OP-Bereichen aus dem Benchmark-Programm von BDA/BDC und VOPM. *Anästh Intensivmed* 2014;55:654–661.

Korrektur

Bei der in der Juni-Ausgabe der A&I abgedruckten S1-Leitlinie „Prävention & Therapie der systemischen Lokalanästhetika-Intoxikation (LAST)“ (*Anästh Intensivmed* 2020;61:225–238. DOI: 10.19224/ai2020.225) hat sich der Fehler teufel eingeschlichen:

- Eines der in Abbildung 2 dargestellten kardinalen Symptome bei LAST ist korrekterweise die **QT-Zeit-Verlängerung**.
- Gemäß ERC-Guidelines wird **bei CPR ein Verhältnis von 30/2 empfohlen**, nicht die in Abbildung 3 abgebildeten 39/2.