Der CO_2-Fußabdruck der Anästhesie

Wie die Wahl volatiler Anästhetika die CO_2-Emissionen einer anästhesiologischen Klinik beeinflusst

The carbon footprint of anaesthesia

How the choice of volatile anaesthetic affects the CO_2 emissions of a department of anaesthesiology

H. Richter · S. Weixler · M. Schuster

www.ai-online.info

▶ **Zitierweise:** Richter H, Weixler S, Schuster M: Der CO_2-Fußabdruck der Anästhesie. Wie die Wahl volatiler Anästhetika die CO_2-Emissionen einer anästhesiologischen Klinik beeinflusst. Anästh Intensivmed 2020;61:154–161. DOI: 10.19224/ai2020.154

Zusammenfassung

Hintergrund: Der Gesundheitssektor ist ein erheblicher Emittent von Treibhausgasen. Der Anästhesiologie kommt aufgrund der Verwendung volatiler Anästhetika (VA) dabei besondere Bedeutung zu. Diese sind starke Treibhausgase, wobei Desfluran die Treibhauswirkung von CO_2 um das 2.540-Fache, Sevofluran hingegen nur um das 130-Fache, übersteigt. In der Klinik für Anästhesiologie der Kliniken des Landkreises Karlsruhe wurde Anfang 2018 die Verwendung von Desfluran eingeschränkt. Primäres Ziel der Studie war es, die Relevanz der Intervention in Bezug auf den Gesamt-CO_2-Fußabdruck der Anästhesiologischen Klinik zu untersuchen.

Methodik: Die Emissionen der anästhesiologischen Klinik in CO_2-Äquivalenten wurden für die Jahre 2017 und 2018 für drei Bereiche ermittelt: Emissionen (1) durch die Verwendung von VA mit Hilfe von Global Warming Potentials auf Basis des tatsächlichen Verbrauchs, (2) durch verwendete Einmalartikel, Verpackungen und Behältnisse von Flüssigkeiten und Medikamenten nach Material- und Entsorgungsklassen, (3) durch den Treibstoffverbrauch auf dem Arbeitsweg der Mitarbeiter*innen.

Ergebnisse: Die Emissionen durch die Verwendung von Einmalartikeln, Verpackungen und Behältnissen von Flüssigkeiten und Medikamenten lagen für die Jahre 2017 und 2018 bei 43,4 und 41,8 t CO_2-Äquivalent, durch den Treibstoffverbrauch auf dem Arbeitsweg bei 48,5 und 48,6 t CO_2-Äquivalent. Im Jahr 2017 lagen die Emissionen durch VA mit 307,8 t CO_2-Äquivalent noch bei 77% der Gesamtemissionen, durch die Reduktion der Verwendung von Desfluran waren sie im Folgejahr mit 36 t CO_2-Äquivalent auf 28% der Gesamtemissionen gesunken. Die Gesamtemissionen der Klinik reduzierten sich durch die Maßnahme somit um 68% von 399,7 t auf 126,4 t CO_2-Äquivalent.

Schlussfolgerung: Bei einer bereits überdurchschnittlich hohen Pro-Kopf-CO_2-Emission in Deutschland von 11 t pro Jahr ergaben unsere Berechnungen sehr hohe berufsbedingte Emissionen der Anästhesist*innen von 17,1 t pro Mitarbeiter*innen und Jahr. Durch den Verzicht auf Desfluran konnten diese auf 5,4 t pro Mitarbeiter*innen und Jahr reduziert werden. Die Emissionen pro Anästhesiefall reduzierten sich von 38 auf 12 kg CO_2-Äquivalent. Die Verwendung von Desfluran sollte aus ökologischer Sicht dringend hinterfragt werden, solange keine effiziente Entfernung der VA aus der Abluft etabliert ist. Eine weitere Reduktion der Treibhausgas-Emissionen der Anästhesiologie muss höchste Priorität haben.

Summary

Background: The health sector contributes considerably to national greenhouse gas emissions. In that regard, anaesthesiology and its use of volatile anaesthetics (VAs) takes on a particular significance. VAs are potent greenhouse gases, with desflurane exhibiting 2540

Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie
Kliniken Landkreis Karlsruhe
- Fürst-Stirum-Klinik Bruchsal
- Rechbergklinik Bretten
Akademische Lehrkrankenhäuser der Universität Heidelberg
(Direktor: Prof. Dr. M. Schuster)

Interessenkonflikt
Die Autoren geben an, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Schlüsselwörter
Klimawandel – CO_2-Fußabdruck – Treibhausgas-Emission – Anästhesiologie

Keywords
Climate change – Carbon footprint – Greenhouse gas emissions – Anaesthesiology

times the Global Warming Potential of CO_2 whilst sevoflurane exceeds the effect of CO_2 by only 130 times. In early 2018 the Department of Anaesthesia at the Kliniken Landkreis Karlsruhe placed limits on the use of desflurane. The primary objective of this study was to investigate the relevance of the intervention in relation to the department's overall carbon footprint.

Methods: Departmental emissions were calculated for 2017 and 2018 in CO_2 equivalents (CO_2e) for three areas: (1) emissions generated by the use of VAs calculated on the basis of actual utilisation and respective Global Warming Potentials, (2) emissions deriving from single-use disposable devices, packaging and containers for fluids and drugs, categorised according to material and waste classes, and (3) emissions from fuel consumption on employees' everyday commute to work.

Results: The emissions derived from single-use disposable devices, packaging and containers for fluids and drugs for 2017 and 2018 were 43.4 und 41.8 t CO_2e respectively and totalled 48.5 und 48.6 t CO_2e respectively from fuel consumption on employees' everyday commute to work. In 2017 the emissions from the use of VAs were 307.8 t CO_2e or 77 % of the department's total emissions. Following a reduction in desflurane use, this number dropped to 36 t or 28% of total emissions in 2018. The department's overall emissions decreased by 68% from 399.7 t to 126.4 t CO_2e.

Conclusions: Germany's carbon footprint is 11 t per capita per annum and as such lies above the international average. Our calculations revealed very high work-related emissions for anaesthesiologists totalling 17.1 t CO_2e per person and year. Decreased use of desflurane reduced these emissions to 5.4 t CO_2e per person and year. Emissions per anaesthesiology case decreased from 38 to 12 kg CO_2e. So long as efficient scavenging systems are not in place, the use of desflurane should therefore be questioned for ecological reasons. Further reductions in anaesthesia-related emissions should be addressed with utmost urgency.

Hintergrund und Fragestellung

Der überwiegend menschengemachte, durch die Emissionen von Treibhausgasen induzierte Klimawandel stellt eine fundamentale Bedrohung der ökologischen und gesellschaftlichen Grundlagen der menschlichen Existenz dar. Der IPPC-Report von 2018 liefert neueste Erkenntnisse dazu, welche Auswirkungen schon eine globale Erwärmung von 2 °C im Vergleich zu 1,5 °C auf Menschen und Ökosysteme haben könnte. Zu erwartende Folgen des Klimawandels sind die Zunahme von Extremwetterereignissen mit Zerstörung von Wohnraum und kritischer Infrastruktur. Allein die steigenden Meeresspiegel könnten in küstennahen Zonen bei 2 °C Erderwärmung die Lebensgrundlage von über 10 Mio. Menschen mehr vernichten als bei 1,5 °C Erwärmung. Mit einer steigenden Mortalität durch extreme Hitzeperioden und mit einem Zusammenbruch bisheriger Nahrungsmittelproduktion in Zusammenhang mit Dürre, Starkniederschlägen und Überschwemmungen ist zu rechnen. Unbestreitbar bestehen weiterhin Unsicherheiten bezüglich des gesamten Ausmaßes der Veränderungen, auch bedingt durch unterschiedliche Modellrechnungen und Unklarheiten über Kipppunkte, wie dem Auftauen der Permafrostböden oder dem Schmelzen großer Eismassen in Grönland und der Antarktis. Die Wahrscheinlichkeit, solche Kipppunkte zu erreichen, steigt jedoch ab einer Erderwärmung über 1,5 °C. Nach allgemeinem wissenschaftlichen Konsens ist eine drastische Reduktion der Treibhausgas-Emissionen in den nächsten zwei Jahrzehnten notwendig, um eine unumkehrbare Entwicklung zu verhindern, an deren Ende weite Teile der Erde nicht mehr bewohnbar sein könnten [1,2].

Der Gesundheitssektor ist durch den Klimawandel in besonderem Maße betroffen. Durch Hitzeextreme, Unterernährung aufgrund von Ernteausfällen, durch Ausbreitung von Krankheiten, zunehmende Armut sowie durch Extremwetterereignisse und die Zerstörung von kritischer Infrastruktur und Wohnraum ist die Gesundheit und die Gesundheitsversorgung vieler Menschen bedroht [3]. Allein die Anzahl der durch Hitzewellen als Folge des Klimawandels verursachten Sterbefälle wird in Deutschland 2018 auf 1.200 geschätzt [4], weltweit auf über 150.000 [5]. Zugleich ist der Gesundheitssektor aber insbesondere in den Industrieländern in erheblichem Maße für CO_2-Emissionen verantwortlich und somit selbst Mitverursacher des Klimawandels. Schätzungen gehen davon aus, dass zwischen 5 und 10% des gesamten CO_2-Ausstoßes in den Industrieländern mittelbar oder unmittelbar durch den Gesundheitssektor und zu einem großen Teil von den Krankenhäusern selbst verursacht wird [6–8].

Im Bereich der Anästhesiologie kommt der Nutzung volatiler Anästhetika (VA) eine besondere Bedeutung zu. VA sind Treibhausgase, die durch ihre physikochemischen Eigenschaften eine erheblich höhere klimaschädliche Potenz haben als CO_2. Diese Emissionen können in CO_2-Äquivalente umgerechnet werden, um eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Treibhausgase zu ermöglichen. Unter den VA ist insbesondere Desfluran problematisch, da es ein mehr als 2.500-fach größeres Treibhauspotenzial als CO_2 hat. Die Auswirkungen von Sevofluran sind dagegen mit einem 130-fachen Treibhauspotenzial deutlich geringer [9–11]. Mit Beginn 2018 wurde in der Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie der Kliniken des Landkreises Karlsruhe aus Gründen des Klimaschutzes die Verwendung von Desfluran, welches bis dahin gleichberechtigt neben Sevofluran als VA zum Einsatz kam, eingeschränkt. Informationen zum Treibhauseffekt der VA wurden allen Mitarbeitenden zur Verfügung gestellt. In einzelnen Fällen konnten die vom Narkosegerät entfernten Desfluran-Vaporen von den Mitarbeitenden aber weiterhin angefordert werden, soweit sie dies aus medizinischen Gründen für sinnvoll erachteten. Primäres Ziel der vorliegenden Untersuchung war, die Auswirkungen dieser Umstellung auf den CO_2-Fußabdruck der Anästhesiologie zu untersuchen.

Methoden

Die Fürst-Stirum-Klinik Bruchsal und die Rechbergklinik Bretten sind als Kliniken des Landkreises Karlsruhe ein gemeinsames Plankrankenhaus der erweiterten Grund- und Regelversorgung mit zwei Standorten und zusammen 515 Betten. Beide Häuser sind akademische Lehrkrankenhäuser der Universität Heidelberg. In zehn Fachabteilungen und zwei Instituten werden jährlich über 26.000 stationäre und 48.000 ambulante Patienten behandelt. Die Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie versorgt mit über 40 ärztlichen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen die sechs operativen Kliniken beider Häuser mit Anästhesieleistungen. In 10 OP-Sälen und weiteren Außenbereichen werden über 11.000 Anästhesieleistungen pro Jahr bei Patienten aller Altersgruppen durchgeführt.

Gegenstand der Arbeit war die explorative Kalkulation der Treibhausgasemissionen in CO_2-Äquivalenten der anästhesiologischen Tätigkeiten für die Jahre 2017 und 2018 an beiden Standorten. Intensivmedizin, Schmerztherapie und Notfallmedizin wurden in die Berechnung nicht mit einbezogen. Die Berechnung des CO_2-Fußabdrucks wurde in drei Bereiche unterteilt, welche von den Mitarbeiter*innen der Klinik für Anästhesiologie direkt beeinflussbar sind. Primäres Ziel war es, den Effekt der eigeschränkten Verwendung von Desfluran im CO_2-Fußabdruck darzustellen.

Bereich 1: Emissionen durch Volatile Anästhetika

Zur Berechnung der jährlichen Emissionen in CO_2-Äquivalenten durch die Verwendung von volatilen Anästhetika (VA) wurden die Daten zum tatsächlichen jährlichen Verbrauch aus der Apotheke herangezogen.

Die Emissionen in CO_2-Äquivalenten wurden mit Hilfe von Global Warming Potential (GWPs) für den Zeitraum von 100 Jahren berechnet. GWPs sind eine Maßzahl für das Treibhauspotenzial chemischer Verbindungen über einen bestimmten Zeitraum. Sie quantifizieren den Treibhauseffekt einer Masse dieser Verbindung im Vergleich zur selben Masse CO_2. CO_2 hat per definitionem ein GWP von 1 [12]. Es wird empfohlen, GWPs100 mit dem Referenzzeitraum von 100 Jahren zu wählen, um einen wesentlichen Anteil des Effekts von CO_2 auf die Atmosphäre zu erfassen [13]. Die Lebensdauer in der Atmosphäre für Isofluran, Desfluran und Sevofluran liegt bei 3,2, 14, und 1,1 Jahren [9], für Lachgas (N_2O) bei 114 Jahren [11]. Für die Berechnung wurden die folgenden GWPs100 verwendet: Isofluran 510, Sevofluran 130, Desfluran 2.540 [9]. Für Sevofluran wurde ein Korrektiv von 5% in die Berechnung mit aufgenommen, da es zu einem geringen Anteil im Körper metabolisiert und daher nicht vollständig in die Atmosphäre abgegeben wird [14, 15]. Weder Isofluran noch Lachgas wurden als inhalative Anästhetika an den beiden Standorten verwendet.

Bereich 2: Emissionen durch die Verwendung von Einmalartikeln, Verpackungen und Behältnissen von Flüssigkeiten und Medikamenten

Um die Emissionen in CO_2-Äquivalenten durch die Verwendung von Einmalartikeln, Verpackungen und Behältnissen von Flüssigkeiten und Medikamenten zu erfassen, wurde auf die Bestellliste Materialwirtschaft aller Einmalartikel und Medikamente der Anästhesiologischen Klinik aus den Jahren 2017 und 2018 zurückgegriffen. Eingeschlossen wurden alle aufgeführten Artikel, die mindestens in zehnfacher Ausführung pro Jahr bestellt worden waren. Jeder Artikel wurde mit Verpackung, aber ohne Versandkarton gewogen. Für Behältnisse von Flüssigkeiten und Medikamenten wurde das Gesamtgewicht bestimmt und das Gewicht des Inhalts abgezogen. Die Artikel wurden entsprechend ihrer Materialklasse und ihrer Entsorgung in Gruppen eingeteilt und bewertet. Die gewählten Materialklassen waren Plastik, Papier/Pappe, Metall, Glas und Batterien. Zudem wurden für Produkte aus zweierlei Materialklassen zusätzlich die Gruppen Plastik + Papier/Pappe sowie Plastik + Metall eingeführt. In den untersuchten Kliniken werden größere Glasflaschen (z.B. 100 mL Antibiose- oder NaCl-Flaschen) gesondert gesammelt und recycelt. Alle weiteren Produkte werden gemeinsam entsorgt und vom Entsorger verbrannt. Dies gilt auch für spitze Gegenstände. Nicht in die Auswertung mit aufgenommen wurde gefährlicher Abfall, z.B. in Form von Blutprodukten oder infektiösem Material, der gesondert entsorgt wird. Diese Abfälle können quantitativ in den beiden untersuchten Häusern aber vernachlässigt werden.

Die Umrechnung der Emissionen durch die Verwendung von Einmalartikeln in CO_2-Äquivalente erfolgte analog der Methode von MacNeill et al. 2017. Diese basiert auf Umrechnungsfaktoren, welche vom Department for Environment, Food and Rural Affairs, Großbritannien, erstellt wurden und welche eine Hochrechnung für den CO_2-Fußabdruck von Materialien über ein Lebenszyklus-Konzept ermöglichen. Es werden sowohl Emissionen berücksichtigt, die upstream, bei der Rohstoffgewinnung, beim Transport und bei der Materialproduktion anfallen, sowie Emissionen, die downstream bei der Entsorgung entstehen. Nicht mit einbezogen werden produktspezifische Emissionen, die bei der Herstellung des Produkts, bei seiner Verpackung oder Sterilisation anfallen [16]. Da die Einmalartikel und ihre Verpackungen aus unterschiedlichen Plastiksorten bestehen (high-density und low-density Polyethylen, Polypropylene und PET sowie Latex) [15], wurden die Emissionsfaktoren für durchschnittliche Kunststoffe verwendet (3.179 kg CO_2-Äquivalent pro Tonne (CO_2äqu/t) für die Produktion und 1.197 kg CO_2äqu/t für die Verbrennung). Die verwendeten Umrechnungsfaktoren für Mischmetall und Papier/Pappe waren 4.778 kg CO_2äqu/t und 1.017 kg CO_2äqu/t in der Produktion, 31 kg CO_2äqu/t und -529 kg CO_2äqu/t in der Verbrennung. Die Glasproduktion emittiert 895 kg CO_2äqu/t, bei der Verbrennung werden 26 kg CO_2äqu/t und beim Recycling -366 kg CO_2äqu/t freigesetzt.

Für Produkte aus Plastik und Metall sowie Plastik und Papier/Pappe wurde ein Verhältnis von 90% Plastik zu 10% Metall bzw. Papier/Pappe angenommen. Da die DEFRA-Umrechnungsfaktoren keine Werte für Batterien einschließen, wurden diese aus der Analyse ausgeschlossen [16].

Bereich 3: Emissionen durch den Treibstoffverbrauch auf dem Arbeitsweg

Auf Basis der Jahresdienstpläne und der jeweiligen Entfernung des Wohnorts zum Arbeitsplatz wurde für die Jahre 2017 und 2018 pro Mitarbeiter*innen des ärztlichen und des Fachkrankenpflegepersonals der Abteilungen die jährliche, beruflich induzierte Wegstrecke ermittelt. Die Wegstrecke von zu Fuß oder mit dem Fahrrad in die Klinik kommenden Mitarbeiter*innen wurde nicht in die Analyse eingeschlossen. Die Berechnungen der CO_2-Äquivalente beruht hierbei auf der Annahme, dass sowohl die Verteilung von Diesel- und Benzin-Fahrzeugen (44% und 56%) als auch der durchschnittliche Treibstoffverbrauch (6,8 l Diesel und 7,7 l Benzin pro 100 km) in der Abteilung mit der gesamtdeutschen Verteilung übereinstimmt [17].

Ergebnisse

An den beiden Standorten der Kliniken des Landkreises wurden in den Jahren 2017 und 2018 insgesamt 10.588 und 10.268 Fälle operativ versorgt. Durch die Schulungsmaßnahmen konnte der Verbrauch von Desfluran von 77,8 l im Jahr 2017 auf nur noch 4,3 l im Folgejahr gesenkt werden. Der Verbrauch von Sevofluran stieg entsprechend von 82,5 l auf 105 l an. Die Reduktion des Verbrauchs von Desfluran um 73,4 l führte zu einem Mehrverbrauch an Sevofluran von nur 22,5 l, da der nötige endtidale Volumenprozentanteil von Sevofluran für das Erreichen einer ausreichenden minimalen alveolären Konzentration (MAC) geringer ist.

Insgesamt 549 unterschiedliche Arten von Einmalartikeln und Behältnissen von Flüssigkeiten und Medikamenten wurden analysiert. Deren Verbrauch änderte sich von 2017 auf 2018 nur geringfügig von 10,9 t auf 10,5 t (Tab. 1). Auch die Treibstoffverbräuche auf dem Arbeitsweg blieben größtenteils konstant. 2017 wurden von den Mitarbeiter(inne)n der Kliniken 8.079,6 l Diesel und 11.564,2 l Benzin verbraucht, im Jahr 2018 lag der Treibstoffverbrauch bei 8.102,4 l Diesel und 11.596,8 l Benzin.

Primäres Ziel der Untersuchung war die Umrechnung der Emissionen in CO_2-Äquivalente und die Darstellung des Effekts der geringeren Desfluran-Verbräuche auf die Gesamtemissionen (Abb. 1). Durch die Reduktion des Verbrauchs von Desfluran konnten die Gesamt-CO_2-Emissionen der betrachteten Bereiche der Klinik damit um mehr als 2/3 – auf 32% der Emissionen des Vorjahres – gesenkt werden. Im Jahr 2017 lagen die Emissionen durch VA mit 307,8 t CO_2-Äquivalent noch bei 77% der Gesamtemissionen, im Folgejahr waren sie mit 36 t CO_2-Äquivalent auf 28,5% und damit auf fast 1/4 der Gesamtemissionen gesunken.

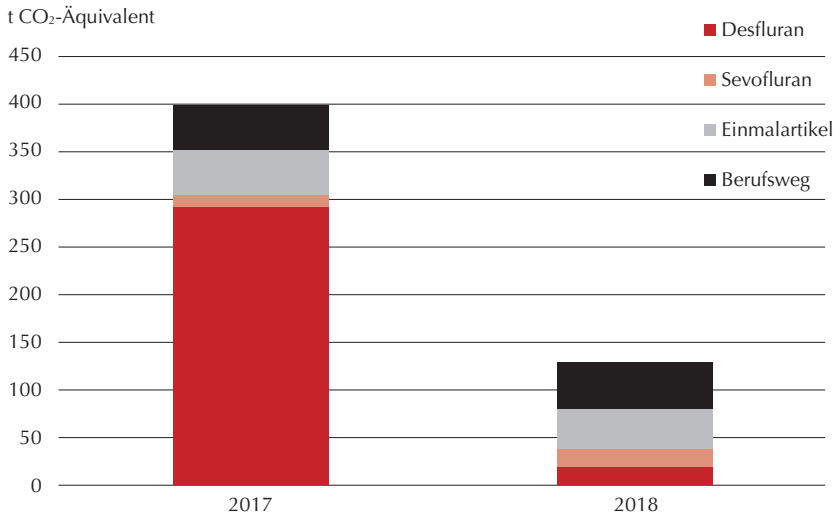
Der Mehrverbrauch von 22,5 l Sevofluran im Jahr 2018 führte zu einer Steigerung der Sevofluran-bedingten Emissio-

Tabelle 1

Gewicht und Emissionen der Einmalartikel, Verpackungen und Behältnisse von Flüssigkeiten und Medikamenten 2017 und 2018 nach Materialklasse.

Materialklassen	Gewicht (in kg)		Emissionen (in kg CO_2-Äquivalent)	
	2017	2018	2017	2018
Plastik	9.015,7	8.657,0	39.573,7	37.980,5
Papier/Pappe	159,5	137,8	78,6	67,3
Metall	46,4	30,0	223,1	144,1
Glas	1.230,2	1.258,7	1.604,0	1.716,5
Plastik + Papier/Pappe	135,4	137,7	539,9	549,1
Plastik + Metall	319,3	299,1	1.411,1	1.321,8
Summe	**10.906,5**	**10.520,3**	**43.430,4**	**41.779,3**

Abbildung 1



Emissionen der Anästhesiologie 2017 und 2018 in Tonnen CO_2-Äquivalent.

nen um 4,5 t CO_2-Äquivalent. Hingegen wurden durch die Einschränkung des Verbrauchs von Desfluran 276,1 t CO_2-Äquivalent eingespart. Netto führte die Umstellung somit zu einer Reduktion der Emissionen durch VA um 271,6 t CO_2-Äquivalent. Die Emissionen durch die Verwendung von Einmalartikeln lag für die Jahre 2017 und 2018 bei 43,4 und 41,8 t CO_2-Äquivalent (Tab. 1). Tabelle 2 zeigt, welche Artikelgruppen dabei den größten Anteil am CO_2-Fußabdruck hatten. Der Treibstoffverbrauch auf dem Arbeitsweg blieb mit 48,5 und 48,6 t CO_2-Äquivalent nahezu konstant.

Die Gesamtemissionen der Abteilung konnten durch die Reduktion des Verbrauchs von Desfluran somit um 273,4 t CO_2-Äquivalent gesenkt werden. Pro Anästhesiefall bedeutete dies eine Reduktion um 67,4%, von 38 kg CO_2-Äquivalent im Jahr 2017 auf 12 kg CO_2-Äquivalent im Jahr 2018. Pro anästhesiologischer ärztlicher Vollzeitstelle lagen die jährlichen CO_2-äquivalenten Emissionen 2017 bei 17,1 t, 2018 bei 5,4 t.

Diskussion

Durch die Intervention in der Umstellung der Verwendung von Desfluran konnten die Gesamtemissionen der Anästhesiologischen Klinik um 68% oder 273,4 t CO_2-Äquivalent pro Jahr gesenkt werden. Die Durchschnittsemission eines bundesdeutschen Bürgers liegt bei ca. 11t CO_2 pro Jahr, was deutlich über dem europäischen Durchschnitt liegt [18]. In unserer Studie kamen wir vor der Intervention pro Mitarbeiter*innen im ärztlichen Bereich allein durch die anästhesiologische Tätigkeit auf 17,1 t CO_2-Äquivalent pro Jahr – und dies ohne die privat verursachten CO_2-Emissionen wie Wohnen, Essen und Reisen. Trotz der Einsparungen lagen diese berufsbedingten Emissionen im Jahr 2018 immer noch bei 5,4 t CO_2-Äquivalent.

Gemäß dem Budgetansatz des IPPC dürfen weltweit insgesamt nur noch ca. 420 Gt CO_2-Äquivalent emittiert werden, um das Ziel der Begrenzung der Erderwärmung auf 1,5 Grad nicht zu überschreiten (Stand 2018). Bei einer aktuellen weltweiten Emissionsrate von ca. 42 Gt CO_2-Äquivalent pro Jahr könnte dies bei gleichbleibenden oder sogar steigenden Emissionen in unter 10 Jahren erreicht werden [19]. Ein Überschreiten der 1,5 Grad-Zielmarke wiederum könnte durch die Kipppunkte in instabilen Systemen (Auftauen der Permafrostböden und der antarktischen Eismassen) zu einer sich selbst verstärkenden, drastischen Verschärfung der ökologischen Folgen des Klimawandels führen, mit einem Ansteigen der Meeresspiegel um mehrere Meter und einer Versteppung und Verwüstung weiter Teile bislang belebter und bewirtschafteter Landflächen [1,2]. Gemäß den Selbstverpflichtungen des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung sollen die CO_2-Emissionen in Deutschland bis 2030 um 55% sinken [20]. In 2050 soll Europa als Ganzes klimaneutral sein, d.h. es sollen keine treibhausrelevanten Gase mehr in die Atmosphäre eingetragen, respektive eingetragene Gase durch Absorptionstechniken an anderer Stelle kompensiert werden [21]. Nachdem die Einsparziele für 2020 von Deutschland nicht erreicht wurden, ist ein radikales Umsteuern in allen gesellschaftlichen Bereichen notwendig, um die Ziele für 2030 und später zu erreichen. Der Gesundheitssektor und dementsprechend auch die Anästhesiologie als Fachgebiet und als häufig größte Klinik innerhalb der Krankenhäuser kann hier keine Ausnahme darstellen.

In unserer Abteilung wurde als erste Maßnahme zur Eindämmung der CO_2-Emissionen auf das mit Abstand klimaschädlichste VA Desfluran weitgehend verzichtet. Ziel der Arbeit war es, diese Umstellung in einer Reduktion der CO_2-äquivalenten Emission darzustellen. In der vorliegenden Analyse konnten wir zeigen, dass alleine durch diese Maßnahme im Jahresvergleich über 2/3 der CO_2-Emissionsäquivalente der anästhesiologischen Tätigkeit vermieden werden konnten. Mittlerweile ist Desfluran aus den genannten ökologischen Erwägungen bei uns gar nicht mehr in Verwendung.

In früheren Arbeiten wurde die Nutzung von Low-Flow- und Minimal-Flow-Anästhesie als wesentliche Maßnahme zur Reduktion des Verbrauchs von volatilen Anästhetika diskutiert. Im Steady-State kann in einer Minimal-Flow-Anästhesie circa 50% des VA-Verbrauchs im Vergleich zur Low-Flow-Anästhesie eingespart werden [11].

Tabelle 2

Artikelgruppen von Einmalartikeln, Verpackungen und Behältnissen von Flüssigkeiten und Medikamenten mit Emissionen über 1 t CO_2-Äquivalent p.a.

Artikelgruppe	Emissionen in kg CO_2-Äquivalent	
	2017	2018
Infusionsflaschen (Plastik)	7.646,0	7.814,7
Beatmungssystem	4.571,9	4.240,5
Patientendecke	3.423,7	3.389,3
Handschuhe	2.749,0	2.860,0
Spritze	3.015,4	2.821,9
Infusions-/Perfusionssystem	2.640,3	2.572,6
Filter	1.567,1	1.570,8
Anästhesie-Set	1.439,5	1.558,8
Absaugsystem	1.610,3	1.553,3
sterile Kittel	1.381,3	1.402,4
Larynxmasken	1.483,7	1.296,0
Beatmungsmasken	1.428,9	1.262,0
Infusionsflaschen (Glas)	977,7	1.108,7

Dies dürfte schon aus ökonomischen Gründen in Deutschland weitgehend umgesetzt sein. Insbesondere in den USA hingegen gab es in der Vergangenheit aus Zulassungs- und theoretischen Gründen erhebliche Vorbehalte gegenüber Low-Flow-Anästhesien [22]. Da in den USA nicht das Krankenhaus, sondern über die eigenständige Pharmazierechnung der Patient selbst die Kosten der Anästhetika begleichen muss, war der Kostenanreiz für die Krankenhäuser in den USA häufig gering. Neben der Nutzung von Low-Flow- und Minimal-Flow-Anästhesie und dem Wechsel auf weniger treibhauswirksame VA, wie in dieser Studie vorgestellt, ist auch der Verzicht auf N_2O ein relevanter Hebel zur Vermeidung von Treibhausgasen. N_2O ist ein potentes Treibhausgas mit einer sehr langen atmosphärischen Lebensdauer [9]. Durch den Zusatz von N_2O erhöht sich das Treibhauspotenzial einer Sevoflurannarkose im Steady State pro Stunde um 83% [11]. Auch die zunehmende Nutzung von total intravenösen Anästhesien ist eine Option zur Vermeidung von Treibhausgasen [23,24]. Zusätzlich bestünde auch die Möglichkeit, die umweltschädliche Wirkung der Verwendung von VA dadurch zu minimieren, dass die VA nicht mehr in die Umwelt emittiert werden, sondern durch technische Vorrichtungen eingefangen und vernichtet [25] oder recycelt werden [26]. Diese Verfahren sind technisch bereits etabliert und sollten in den kommenden Jahren sehr zügig allgemeiner Standard in anästhesiologischen Kliniken werden, die weiterhin VA nutzen wollen. Bei geschätzten weltweiten Emissionen von über 4 Mio. t CO_2-Äquivalent alleine durch die Nutzung von VA [10] erscheint dies eine vordringliche Aufgabe. Im Übrigen könnte das Recycling oder zumindest das Unschädlichmachen der VA auch ökonomisch eine attraktive Option werden. Wird bei einer zukünftigen Bepreisung der CO_2-Emissionen ein Wert von 55 € pro Tonne unterstellt (wie aktuell für 2025 geplant), ergibt sich je nach Einkaufspreis für Desfluran eine Zunahme der Kosten um circa 75% allein durch die Besteuerung der Emission. Diese Mehrkosten könnten durch entsprechende Maßnahmen vermieden werden.

Bedingt durch Vorgaben der Krankenhaushygiene und Bestrebungen nach Prozessvereinfachungen sind in den OP-Bereichen in den letzten Jahren zunehmend Mehrwegprodukte durch Einwegprodukte ersetzt worden. Einmalprodukte haben im Vergleich zu Mehrwegprodukten in vielen Fällen erheblich höhere CO_2-Emissionen zur Folge. So konnte beispielsweise gezeigt werden, dass die Nutzung von Einweglaryngoskopen [27], aber selbst von Einwegabdecktüchern und -kitteln [28–30] sowohl ökologisch als auch ökonomisch nachteilig für die Krankenhäuser ist. Dem stehen vermeintliche Vorteile in hygienischer Hinsicht und Prozessvereinfachungen im Bereich der Logistik und Sterilgutaufbereitung entgegen. Hier erscheinen Untersuchungen und Engagement auf lokaler Ebene notwendig, um die umweltverträglichsten Wege für die Krankenhäuser zu finden. Es darf aber bezweifelt werden, dass die zunehmende Nutzung von Einwegprodukten im Sinne der Nachhaltigkeit der richtige Weg ist. Auch erscheint es notwendig, hygienische Vorgaben, die nur noch mit Einmalprodukten zu erfüllen sind, mit harter Evidenz zu hinterlegen. Tabelle 2 soll einen Anhalt dafür bieten, bei welchen Artikelgruppen vordringlicher Handlungsbedarf besteht.

Ein wesentlicher Teil der CO_2-Emissionen in unserer Studie wurde durch die Arbeitswege verursacht. Um diese Emissionen zu mindern, sind neue Mobilitätskonzepte notwendig. Hier ist nicht nur die öffentliche Infrastruktur gefordert, sondern auch die Krankenhäuser als Arbeitsgeber genauso wie die Mitarbeiter*innen selbst. Anbindung an den öffentlichen Personennahverkehr, Verfügbarkeit von attraktiven, gegebenenfalls verbundübergreifenden Jobtickets, Carsharing, Verfügbarkeit von E-Ladestationen und kostenloses Laden von Elektrofahrzeugen sind Ansatzpunkte, die in einigen Industrieunternehmen bereits realisiert wurden. An vielen deutschen Krankenhäusern hingegen gibt es häufig nicht einmal überdachte Fahrradstellplätze.

Limitationen der Erhebung

Die Kalkulation der CO_2-Emissionen in der vorliegenden Studie unterliegt methodisch vielen Einschränkungen. In der Studie wurde nur die anästhesiologische Tätigkeit betrachtet. Tätigkeiten auf der Intensivstation, in der Notfallmedizin und der Schmerztherapie waren nicht Gegenstand der Erfassung. Ebenso kann über die ein- und ausgeschlossenen Analysebereiche kritisch diskutiert werden. So wurden die CO_2-Emissionen der Arbeitswege mit in die Kalkulation aufgenommen, die sonstigen, der persönlichen Sphäre zuzurechnenden CO_2-Emissionen wie Lebensmittelversorgung am Arbeitsplatz, Kleidung etc. aber nicht. Die Berechnung der CO_2-Effekte volatiler Anästhetika mit dem GWP100-Ansatz entspricht der gängigen wissenschaftlichen Herangehensweise, um die klimaschädliche Wirkung von VA mit direkten CO_2-Emissionen vergleichbar zu machen. Hier sind auch andere Ansätze möglich, insbesondere was den Zeithorizont von 100 Jahren anbelangt, welcher die Ergebnisse erheblich beeinflusst. Allerdings erscheint die Nutzung einer 100-Jahresperspektive angesichts der Langlebigkeit der Treibhausgase in der Atmosphäre gerechtfertigt und wird daher von der einschlägigen Literatur empfohlen [9,10,13]. Dabei wird allerdings nicht ersichtlich, dass der hauptsächliche Treibhauseffekt der VA innerhalb ihrer atmosphärischen Lebensdauer und damit innerhalb der nächsten 10–30 Jahre zum Tragen kommt, was dem relevanten verbleibenden Handlungszeitraum zur Begrenzung der Klimaerwärmung entspricht [31]. Die Berechnung der CO_2-Emissionsäquivalente der Einmalartikel, Verpackungen und Behältnisse von Flüssigkeiten und Medikamenten wurde aus pragmatischen Gründen über ein stark vereinfachtes Modell über das Gewicht und eine Bewertung von 6 verschiedenen Materialarten und 2

Entsorgungsarten gemäß der englischen DEFRA Guidelines vorgenommen [16]. Diese ermöglichen allerdings keine vollständige Lebenszyklus-Analyse der einzelnen Produkte. Nicht mit einberechnet sind produktspezifische Emissionen, die bei der Herstellung des Produktes, bei seiner Verpackung oder Sterilisation anfallen. Es war nicht möglich, die genauen CO_2-Äquivalente der Produktion, Logistik und Entsorgung für jedes einzelne Produkt zu berechnen, da es hierzu keine Daten und keine Informationspflicht von Seiten der Hersteller gibt. Verglichen mit den Daten aus einer vollständigen Lebenszyklus-Analyse für Einweg-Laryngoskopspatel [27] könnte der Fehler in unserer Berechnung durch die Verwendung von DEFRA-Umrechnungsfaktoren bei bis zu 66% für Plastik- und 23% für Metall-Einwegprodukte liegen. Dies verdeutlicht auch die Notwendigkeit einer Informationspflicht für Hersteller zu produkt- und produktionsspezifischen Emissionen. Diese könnte in Zukunft eingeführt werden, da die Daten für eine realistische Bepreisung von CO_2 in Produkten unumgänglich ist. Neben Qualität, Preis und Verfügbarkeit sollten sie ein wichtiges Auswahlkriterium für Produkte werden. Gleiches gilt für die notwendigen CO_2-Äquivalente in der Produktion der verwendeten Medikamente. Da auch hier jegliche Informationen fehlen, konnten sie in dieser Berechnung nicht berücksichtigt werden. Auch das Modell zur Berechnung der CO_2-Äquivalente auf den Arbeitswegen beruht letztlich auf einer pragmatischen Vereinfachung, da nicht die realen Kraftstoffverbräuche erfasst, sondern Durchschnittswerte herangezogen wurden.

Die größte Limitation der Studie liegt aber in der Tatsache begründet, dass die aufgewendete Energie für den Betrieb des OP und insbesondere Heizung, Lüftung und Klimaanlage nicht berücksichtigt wurde. Diese verursachte in früheren Arbeiten zwischen 17 und 84% der Gesamt-Emissionen des OP-Bereiches [15]. Zum einen lagen uns die Daten zum Energieverbrauch nicht vor, zum anderen ist inhaltlich die Abgrenzung zu den operativen Abteilungen sehr schwierig. Der Fokus der Untersuchung sollte aber bewusst auf den anästhesiologisch induzierten und von der Anästhesiologie beeinflussbaren Treibhausgas-Emissionen liegen.

Schlussfolgerung

Zusammenfassend konnte in der vorliegenden Arbeit gezeigt werden, dass im betrachteten Fall die CO_2-Emissionen der Anästhesiologie allein durch die Wahl der volatilen Anästhetika um zwei Drittel reduziert werden konnten. Trotzdem bleibt die Gesamtsumme der Emission des klimaschädlichen CO_2 durch die berufliche Tätigkeit der Anästhesist*innen alarmierend. Sollen die deutschen Klimaziele nicht nur Makulatur bleiben, werden alle gesellschaftlichen Bereiche ihre persönlichen und beruflichen Praktiken radikal überdenken müssen. Der Gesundheitssektor darf sich hierbei nicht ausnehmen. Somit muss die Suche nach Möglichkeiten zur weiteren Reduktion der Treibhausgas-Emissionen für uns Anästhesist*innen, auch im Verbund mit unseren chirurgischen Partner*innen, eine sehr hohe Priorität bekommen.

Danksagung

Die Autoren und Autorin bedanken sich für die freundliche Mitarbeit von Frau Beate Fuchs bei der Erhebung des Gewichts der verschiedenen Einmalartikel.

Literatur

1. Hoegh-Guldberg O, Jacob D, Taylor M: Chapter 3. Impacts of 1.5°C of Global Warming on Natural and Human Systems. IPCC 2018
2. Hansen J, Sato M, Hearty P, Ruedy R, Kelley M, Masson-Delmotte V, et al: Ice melt, sea level rise and superstorms: evidence from paleoclimate data, climate modeling, and modern observations that 2 °C global warming is highly dangerous. Atmos Chem Phys 2015;15:20095–20179
3. Watts N, Amann M, Arnell N, Ayeb-Karlsson S, Belesova K, Boykoff M, et al: The 2019 report of The Lancet Countdown on health and climate change: ensuring that the health of a child born today is not defined by a changing climate. Lancet 2019;394(10211):1836–1878
4. Eckstein D, Künzel V, Schäfer L, Winges M: Global Climate Risk Index 2020. Who Suffers Most from Extreme Weather Events? Weather-Related Loss Events in 2018 and 1999 to 2018. Bonn: Germanwatch e.V. 2019
5. WHO: Climate Change. WHO 2019. https://www.who.int/heli/risks/climate/climatechange/en/ (Zugriffsdatum: 19.12.2019)
6. Eckelman MJ, Sherman J: Environmental Impacts of the U.S. Health Care System and Effects on Public Health. PLoS One 2016;11(6):e0157014
7. Eckelman MJ, Sherman JD, MacNeill AJ: Life cycle environmental emissions and health damages from the Canadian healthcare system: An economic-environmental-epidemiological analysis. PLoS Med 2018;15(7):e1002623
8. Bundesärztekammer: The Lancet Countdown on Health and Climate Change. Policy Brief für Deutschland 2019. https://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/pdf-Ordner/Pressemitteilungen/20191114_Klimawandel/3_Lancet_Countdown_Policy_brief_for_Germany_German_v01b.pdf (Zugriffsdatum: 19.12.2019)
9. Sulbaek Andersen MP, Nielsen OJ, Wallington TJ, Karpichev B, Sander SP: Medical intelligence article: assessing the impact on global climate from general anesthetic gases. Anesth Analg 2012;114(5):1081–1085
10. Sulbaek Andersen MP, Sander SP, Nielsen OJ, Wagner DS, Sanford TJ Jr, Wallington TJ: Inhalation anaesthetics and climate change. Br J Anaesth 2010;105(6):760–766
11. Ryan SM, Nielsen CJ: Global warming potential of inhaled anesthetics: application to clinical use. Anesth Analg 2010;111(1):92–98
12. Ramaswamy V, Boucher O, Haigh J, Hauglustaine D, Haywood J, Myhre T, et al: Radiative Forcing of Climate Change. In: Joughton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X, et al. (Hrsg.): Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press 2001

13. Wallington TJ, Anderson JE, Mueller SA, Winkler S, Ginder JM, Nielsen OJ: Time horizons for transport climate impact assessments. Environ Sci Technol 2011;45(7):3169–70; author reply 7–8
14. Sherman J, Le C, Lamers V, Eckelman M: Life cycle greenhouse gas emissions of anesthetic drugs. Anesth Analg 2012;114(5):1086–1090
15. MacNeill AJ, 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 2017;1(9):e381–e388
16. DEFRA: 2011 Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting: Methodology Paper for Emission Factors. In: Department for Environment FaRA (editor) 2011
17. Statistisches Bundesamt: Weiter steigende Motorleistung der Pkw verhindert Rückgang der CO_2-Emissionen. Pressemitteilung Nr. 451 vom 14. Dezember 2016. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt 2016
18. 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)
19. IPCC: Summary for Policymakers. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pörtner HO, Roberts D, Skea J, Shukla PR, et al: editors. Global Warming of 1,5 °C An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1,5 °C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate pove. Geneva: World Meteorological Organization 2018
20. Umweltbundesamt: Klimaschutzziele Deutschlands; 2019. https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/klimaschutzziele-deutschlands (Zugriffsdatum: 19.12.2019)
21. Umweltbundesamt: Treibhausgas-Emissionen in Deutschland; 2019. https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#textpart-1 (Zugriffsdatum: 19.12.2019)
22. Epstein RH, Dexter F, Maguire DP, Agarwalla NK, Gratch DM: Economic and Environmental Considerations During Low Fresh Gas Flow Volatile Agent Administration After Change to a Nonreactive Carbon Dioxide Absorbent. Anesth Analg 2016;122(4):996–1006
23. Sherman JD, Barrick B: Total Intravenous Anesthetic Versus Inhaled Anesthetic: Pick Your Poison. Anesth Analg 2019;128(1):13–15
24. White SM, Shelton CL: Abandoning inhalational anaesthesia. Anaesthesia 2020;75(4):451–454
25. Rauchenwald V, Rollins MD, Ryan SM, Voronov A, Feiner JR, Sarka K, et al: New Method of Destroying Waste Anesthetic Gases Using Gas-Phase Photochemistry. Anesth Analg 2019; Online first. DOI: 10.1213/ANE.0000000000004119
26. Wong K, Wasowicz M, Grewal D, Fowler T, Ng M, Ferguson ND, et al: Efficacy of a simple scavenging system for long-term critical care sedation using volatile agent-based anesthesia. Can J Anaesth 2016;63(5):630–632
27. Sherman JD, Raibley LAt, Eckelman MJ: Life Cycle Assessment and Costing Methods for Device Procurement: Comparing Reusable and Single-Use Disposable Laryngoscopes. Anesth Analg 2018;127(2):434–443
28. Kagoma Y, Stall N, Rubinstein E, Naudie D: People, planet and profits: the case for greening operating rooms. CMAJ 2012;184(17):1905–1911
29. Vozzola E, Overcash M, Griffing E: Life cycle assessment of surgical drapes and tapes: reusable and disposable. Reston: Environmental Clarity 2018
30. Vozzola E, Overcash M, Griffing E: Environmental considerations in the selection of isolation gowns: A life cycle assessment of reusable and disposable alternatives. Am J Infect Control 2018;46(8):881–886
31. Ozelsel TJP, Sondekoppam RV,Buro K: The future is now – it's time to rethink the application of the Global Warming Potential to anesthesia. Can J Anaesth 2019;66(11):1291–1295.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Martin Schuster

Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie
Kliniken Landkreis Karlsruhe
- Fürst-Stirum-Klinik Bruchsal
- Rechbergklinik Bretten
Akademische Lehrkrankenhäuser der Universität Heidelberg
Gutleutstraße 1 – 14
76646 Bruchsal, Deutschland

Tel.: 07251 708-57501
Fax: 07251 708-57509

E-Mail:
martin.schuster@rkh-kliniken.de

ORCID-ID: 0000-0001-5946-4166