

## Ecological Sustainability in Anaesthesiology and Intensive Care Medicine. A Position Paper with Specific Recommendations – Update 2024

M. Schuster · H. Richter · S. Pecher · T. Bein · L. Grüßer · A. Kowark · F. Lehmann ·  
C. Samwer · T. Brenner · M. Coburn

erstellt vom Forum „Nachhaltigkeit in der Anästhesiologie“ vom  
Berufsverband Deutscher Anästhesistinnen und Anästhesisten e. V. (BDA) und der  
Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e. V. (DGAI)\*

► **Zitierweise:** Schuster M, Richter H, Pecher S, Bein T, Grüßer L, Kowark A et al: Positionspapier mit konkreten Handlungsempfehlungen der DGAI und des BDA: Ökologische Nachhaltigkeit in der Anästhesiologie und Intensivmedizin – Aktualisierung 2024. *Anästh Intensivmed* 2024;65:541–557. DOI: 10.19224/ai2024.541

\* Mit der Verabschiedung des aktuellen Positionspapiers 2024 verliert die Ursprungsversion aus dem Jahr 2020 ihre Gültigkeit. Folgende Autorinnen und Autoren waren als Autorengruppe an der Ursprungsversion beteiligt: Prof. Dr. Martin Schuster, Dr. Hannah Richter, Dr. Sabine Pecher, Dr. Susanne Koch, Prof. Dr. Mark Coburn. Das aktualisierte Positionspapier ist eine grundlegende Überarbeitung der ersten Version; die Beiträge der früheren Autorinnen und Autoren an der Entwicklung des Positionspapiers werden an dieser Stelle ausdrücklich gewürdigt.

### Interessenkonflikt

Die Autorinnen und Autoren geben an, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

### Schlüsselwörter

Empfehlungen – Anästhesiologie – Nachhaltigkeit – Klimawandel – CO<sub>2</sub>-Emissionen

### Keywords

Guidelines – Anaesthesiology – Sustainability – Climate Change – CO<sub>2</sub> Emission

## Zusammenfassung

Das vorliegende Positionspapier „Ökologische Nachhaltigkeit in der Anästhesiologie und Intensivmedizin“ zeigt konkrete Handlungsempfehlungen zur ökologischen Nachhaltigkeit in den Bereichen Anästhesie, Intensivmedizin und Notfallmedizin auf und stellt die Folgen der Umweltkrisen auf den Fachbereich dar. Es stellt die Aktualisierung des im Jahr 2020 veröffentlichten ersten Positionspapiers dar [1] und wurde von den Präsidien des Berufsverbandes Deutscher Anästhesistinnen und Anästhesisten e. V. (BDA) und der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e. V. (DGAI) am 19.07.2024 verabschiedet.

Das Positionspapier ist angesichts der zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels und der weiteren drohenden Umweltveränderungen und des damit einhergehenden medizinischen Notstandes entstanden. Ziel ist es darzustellen, mit welchen konkreten Maßnahmen Anästhesistinnen und Anästhesisten negative ökologische Auswirkungen ihrer beruflichen Tätigkeit auf der Intensivstation und in der Anästhesiologie minimieren können. Eine nachhaltige Reduktion von Treibhausgasemissionen innerhalb des sehr CO<sub>2</sub>-intensiven Gesundheitssektors ist dringend notwendig, um die damit verbundenen negativen Auswirkungen auf die Gesundheit von Menschen weltweit zu verhindern. Dies sollte zum beruflichen Selbstverständnis aller Ärztinnen und Ärzte gehören.

## Positionspapier mit konkreten Handlungsempfehlungen der DGAI und des BDA:

## Ökologische Nachhaltigkeit in der Anästhesiologie und Intensivmedizin

## Aktualisierung 2024

Das Positionspapier ist in sieben Abschnitte untergliedert. Die Aktualisierung des Positionspapiers von 2020 erfolgte auf Basis der zwischenzeitlich publizierten Literatur und der aktuellen Evidenz. Es zeigt auf, wie Anästhesistinnen und Anästhesisten in ihrem beruflichen Wirkungskreis ökologische Nachhaltigkeit umsetzen können. Besonderes Augenmerk wird auf die Auswirkungen der in der Anästhesiologie und Intensivmedizin verwendeten Medikamente auf Umwelt und Klimawandel gelegt und es wird die besondere Bedeutung der volatilen Anästhetika als direkte und potente Treibhausgase betont. Welche Rolle Filtersysteme in diesem Bereich spielen können, wird in der vorliegenden Aktualisierung konkretisiert. Bezogen auf Sachartikel wird die zunehmende Verwendung von Einmalartikeln kritisch diskutiert und, soweit möglich, die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft im OP und auf der Intensivstation angeregt. Zudem wird die Notwendigkeit zur Berücksichtigung des ökologischen Fußabdruckes bei der Produktauswahl betont. Neu erschienene Lebenszyklusanalysen von Produkten erweitern in diesem Bereich die bisher vorliegende Evidenz. Da Abfall erhebliche direkte und indirekte negative ökologische Auswirkungen hat, wird anhand des 5R-Konzepts erläutert, wie Abfall im OP und auf der Intensivstation aktiv reduziert werden kann, ohne die Prozesse negativ zu beeinflussen. Fallbeispiele zeigen, dass sich Recyclingkonzepte auch in diesen Bereichen ohne große Schwierigkeiten umsetzen lassen.

Über den direkten anästhesiologischen Arbeitsbereich hinausgehend adressiert das Positionspapier weitere wesentliche Handlungsfelder, die mittelbar mit dem beruflichen Alltag von Anästhesistinnen und Anästhesisten assoziiert sind. So wird auf die Bedeutung einer nachhaltigen Mobilität in Bezug auf Arbeitswege, klinisch induzierte Transporte und Kongressreisen hingewiesen. Ein verbessertes Energiemanagement kann im OP und auf der Intensivstation beginnen, muss aber letztlich das gesamte Krankenhaus umfassen. In diesem Bereich fallen sehr hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen an, die durch Energiesparmaßnahmen effizient reduziert werden können. Zahlreiche der Maßnahmen sind einfach realisierbar und müssen dringend vor Ort umgesetzt werden. Schlussendlich wird auch die Bedeutung von Forschung und Lehre betont, um der Herausforderung der ökologischen Nachhaltigkeit in Anästhesiologie und Intensivmedizin erfolgreich begegnen zu können.

Abschließend werden in der vorliegenden Aktualisierung des Positionspapiers auch erstmalig die Auswirkungen von Klimawandel und Umweltveränderungen auf die klinische Versorgungsrealität in der Intensiv- und Notfallmedizin zusammenfassend dargestellt und Handlungsoptionen für eine klimaresilientere Patientenversorgung in den klinischen Bereichen von Anästhesiologie, Intensivmedizin und Notfallmedizin aufgezeigt.

### Summary

The position paper entitled “Ecological sustainability in anaesthesiology and intensive care medicine” presents specific recommendations for action to achieve ecological sustainability in the field of anaesthesiology, intensive care medicine and emergency medicine. As such, it outlines the consequences of the environmental crises for the specialist area. It is based on the first position paper published in 2020 [1] and was adopted by the executive committees of the BDA and DGAI on July 19<sup>th</sup>, 2024.

The position paper was created in view of the expected effects of climate change and the threat of further environmental

changes and the associated medical state of emergency. The aim was to outline the specific measures that anaesthetists can take to minimise the negative ecological impact of their professional activities in intensive care units and anaesthesiology. A sustainable reduction of greenhouse gas emissions within the highly CO<sub>2</sub>-intensive healthcare sector is urgently needed in order to prevent the consequential negative effects on the health of people worldwide. This should be part of the professional identity of all doctors.

The position paper is subdivided into seven sections. The previous 2020 position paper has now been updated on the basis of the literature published in the meantime and current evidence. It shows how anaesthetists can implement environmental sustainability in scope of their professional activity. Particular attention is paid to the impact of the drugs used in anaesthesiology and intensive care medicine on the environment and climate change and the special significance of volatile anaesthetics as direct and potent greenhouse gases is emphasised. The role that filter systems can play in this area is specified in this update. With regard to medical devices, the increasing use of disposable items is discussed critically and, whenever possible, the establishment of a circular economy in the operating theatre and intensive care unit is suggested. The need to consider the ecological footprint when selecting products is also emphasised. Newly published life cycle assessments of products expand the existing evidence in this area. As waste has considerable direct and indirect negative ecological effects, the 5R concept is used to explain how to actively reduce waste in the OR and ICU without negatively impacting processes. Case studies show that recycling concepts can also be implemented in these areas without major difficulties.

In addition to the direct anaesthesiological field of work, the position paper also addresses other key areas of action that are indirectly associated with the everyday work of anaesthetists. For example, the importance of sustainable mobility with regard to commuting,

clinically induced transportation and congress travel is highlighted. Improved energy management can begin in the operating theatre and intensive care unit, but must ultimately encompass the entire hospital. Very high CO<sub>2</sub> emissions are generated in this area, which can be efficiently reduced by energy-saving measures. Many of the measures are easy to implement and urgently need to be implemented on site. Finally, the importance of research and teaching is also emphasised in order to successfully meet the challenge of ecological sustainability in anaesthesiology and intensive care medicine.

In conclusion, this update of the position paper also summarises for the first time the effects of climate change and environmental changes on the reality of clinical care in intensive care and emergency medicine and presents options for action for more climate-resilient patient care in the clinical areas of anaesthesiology, intensive care and emergency medicine.

### Vorwort

Die erste Version des Positionspapiers „Ökologische Nachhaltigkeit in der Anästhesiologie und Intensivmedizin“ wurde von den Präsidien von BDA und DGAI im Jahr 2020 verabschiedet [1]. Die Anästhesiologie war damit das erste Fachgebiet in Deutschland, das sich dahingehend positioniert hat.

In der nun vorliegenden Aktualisierung des Positionspapiers wurden zahlreiche neue Erkenntnisse und Handlungsansätze eingearbeitet, basierend auf aktuellen Publikationen. Die bisherigen Kapitel zu den Themen Medikamente, Sachartikel, Abfallmanagement, Mobilität, Energiemanagement sowie Forschung und Lehre wurden um ein Kapitel zum Thema „Folgen globaler Umweltveränderungen auf die Patientenversorgung“ ergänzt.

Unverändert steht im Rahmen unserer klinischen Tätigkeit stets das Patientenwohl im Vordergrund. Da die Umweltveränderungen, der Klimawandel und ihre Auswirkungen auf die Patienten-

versorgung in den nächsten Jahren und Jahrzehnten zunehmen werden, müssen wir als Anästhesistinnen und Anästhesisten beide Veränderungsprozesse aktiv mitgestalten. Dies betrifft zum einen die Anpassung an eine veränderte Versorgungswirklichkeit, in der z. B. Extremwetterereignisse und veränderte Krankheitsentitäten eine zunehmende Rolle spielen werden. Zum anderen ergibt sich aber auch die Notwendigkeit, selbst dazu beizutragen, dass die erheblichen Treibhausgasemissionen, die durch das Gesundheitswesen verursacht werden, effektiv und zügig reduziert werden. Nur, wenn alle gesellschaftlichen Bereiche und auch das Gesundheitswesen ihren Beitrag leisten, können eine Halbierung der Emissionen in Europa bis 2030 und Netto-Null-Emissionen bis 2050 gelingen.

Um vor Ort einen möglichst großen Effekt zu erzielen, ist die Etablierung von sog. „Green Teams“ in allen Kliniken für Anästhesiologie notwendig. Diese können Strategien und Maßnahmen entwickeln, um Veränderungsprozesse zu induzieren, Medikamenten- und Materialverbrauch sowie Emissionen einzusparen, eine Reduktion des Energie- und Wasserverbrauchs zu initiieren sowie ein fortschrittliches Recyclingmanagement zu fördern. Hierzu sollte eine detaillierte Analyse der Themen Verpackung, Transport und Entsorgung vorgenommen werden.

Diese Nachhaltigkeitskonzepte sollten sowohl initiativ von den Abteilungen selbst entwickelt („bottom up“), als auch von Verwaltung und Management der Kliniken angeregt und gefördert werden („top down“). Die „Green Teams“ sollten offen sein für eine Kooperation über die Fachabteilungen, Berufsgruppen sowie Krankenhausbereiche hinweg und auch die Abteilungen für Krankenhaushygiene miteinschließen, um konkrete Vorschläge für ein umwelt- und klimaschonenderes Vorgehen zu erarbeiten [2].

Unverändert bekennen sich BDA und DGAI mit diesem Positionspapier ausdrücklich zum Ziel des klimaneutralen, nachhaltigen Gesundheitssystems und nutzen daher in Verbindung mit den

anderen Beteiligten des Gesundheitssektors ihre Einflussmöglichkeiten auf Politik und Industrie, um den notwendigen Transformationsprozess aktiv voranzutreiben.

### Einleitung

Neben dem Klimawandel bedrohen weitere Umweltkrisen die Gesundheit der Weltbevölkerung. Derzeit gelten sechs von neun planetaren Belastungsgrenzen als in gefährlicher Weise überschritten: Klimawandel, Artensterben, Landnutzung, Umweltverschmutzung, Süßwasserverfügbarkeit und globale Kreisläufe von Stickstoff und Phosphor [3]. Das Überschreiten der planetaren Belastungsgrenzen erhöht die Krankheitslast der Menschen und führt infolgedessen zu einer zunehmenden Belastung der Gesundheitssysteme weltweit [4,5]. Aktivierte, sich selbst und gegenseitig verstärkende Kippunkte der Erdsysteme führen zu einer nichtlinearen Beschleunigung dieser Entwicklung. Diese menschengemachten Umweltkrisen lassen sich auf unsere ressourcenintensive Lebensweise zurückführen, die neben den Umweltfolgen auch lebensstilbedingte Erkrankungen zur Folge hat [6–8].

Die von der internationalen Gemeinschaft ergriffenen Maßnahmen zur Eindämmung und Anpassung an den Klimawandel sind unzureichend, um die Gesellschaften vor den künftigen Auswirkungen der Klimakrise zu schützen [9]. Wesentlicher Treiber ist die fortgesetzte Verbrennung fossiler Energieträger. Daher haben sich DGAI und BDA auch der von zahlreichen Gesundheitsorganisationen unterstützten Forderung nach einem Nichtverbreitungsabkommen für fossile Energieträger angeschlossen [10]. Wir befinden uns in einer Notlage, in der den Gesundheitssystemen eine essentielle Bedeutung zukommt [11,12]. Daraus ergeben sich für das Fachgebiet der Anästhesiologie eine Reihe konkreter Maßnahmen mit dem Ziel, die weitere Entwicklung abzuschwächen und die Widerstandsfähigkeit der Gesundheitseinrichtungen in diesem von zahlreichen Krisen geprägten Umfeld zu erhöhen.

Als Ärztinnen und Ärzte stehen wir in einer besonderen Verantwortung. Weltweit wird der Klimawandel in den nächsten Jahrzehnten zu einer erheblichen Verschlechterung der Gesundheitsversorgung sehr vieler Menschen führen und die Gesundheitssysteme fast aller Länder vor große Herausforderungen stellen [4,13]. Zugleich ist der Gesundheitssektor selbst in erheblichem Ausmaß Emittent von Treibhausgasen und war 2020 für über 4 % der globalen Treibhausgasemissionen verantwortlich [4]. Folglich haben zahlreiche Ärzteverbände weltweit mit eigenen Stellungnahmen auf die Dringlichkeit der Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen auch im Gesundheitssektor hingewiesen [14–18]. Der deutsche Gesundheitssektor kann seinen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck drastisch reduzieren, ohne dass die Qualität der Versorgung darunter leiden müsste [19]. Ärztinnen und Ärzte sind zudem aufgefordert, in ihren persönlichen Konsum- und, im Sinne der Divestment-Kampagne, auch in ihren Anlageentscheidungen dem Klimaschutz hohe Priorität einzuräumen [20].

Als hochtechnisierte, ressourcenintensive Bereiche sind Anästhesiologie und Intensivmedizin in erheblichem Maße an den CO<sub>2</sub>-Emissionen des Gesundheitssystems beteiligt [21–23]. Zahlreiche internationale anästhesiologische Fachgesellschaften haben in den letzten Jahren Empfehlungen veröffentlicht, wie Anästhesistinnen und Anästhesisten ihren Beitrag zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen leisten können [15–18].

In den unten genannten Empfehlungen werden schwerpunktmäßig die Maßnahmen aufgeführt, die unmittelbar und vor Ort schon jetzt von uns Anästhesistinnen und Anästhesisten umgesetzt werden können.

### Glossar

#### CO<sub>2</sub>e: CO<sub>2</sub>-Äquivalent

Emissionen durch andere Treibhausgase als CO<sub>2</sub> können in **CO<sub>2</sub>-Äquivalente** umgerechnet werden. Hierzu werden reale Emissionen mit Hilfe ihrer Masse und der Global Warming Potentials in



eine entsprechende Menge von CO<sub>2</sub> mit vergleichbarem Effekt in der Atmosphäre umgerechnet [24].

GWP: Global Warming Potential

Das **Global Warming Potential** oder Treibhauspotential beschreibt den stoffspezifischen Treibhauseffekt im Vergleich zum Referenzgas CO<sub>2</sub> über einen gewissen Zeitraum. Meist wird der Zeitraum von 100 Jahren (GWP100) gewählt [25].

LCA: Life Cycle Assessment

Wie groß die Umweltauswirkungen verschiedener Sachartikel, Medikamente oder Behandlungsmaßnahmen tatsächlich sind, kann ein **Life Cycle Assessment** ermitteln. Hierbei wird der ökologische Fußabdruck „von der Wiege bis ins Grab“ analysiert. Berücksichtigt werden dabei 1) Gewinnung des Rohstoffes, 2) Verarbeitung und Herstellung, 3) Transportwege und Verpackung 4) Nutzung, Wiederverwertung und Instandhaltung, 5) Recycling und 6) Entsorgung. Wichtige Faktoren sind neben der CO<sub>2</sub>-Freisetzung auch der Wasserverbrauch und die Freisetzung von Toxinen [26].

A. Medikamente

- E1: Anästhesien mit volatilen Anästhetika sollten so geführt werden, dass möglichst wenig volatile Anästhetika in die Umwelt abgegeben werden. Dies erfordert die konsequente Nutzung von Minimal-Flow-Anästhesien.
- E2: Von der Verwendung von Desfluran und Lachgas wird abgeraten. Von den gängigen volatilen Anästhetika hat Sevofluran das geringste Treibhauspotential.
- E3: Die Verwendung von Narkosegasfiltern sollte erwogen werden. Die Industrie ist aufgefordert, im Anästhesiegerät integrierte Narkosegasfilter verfügbar zu machen, um die Abgabe von volatilen Anästhetika an die Umwelt geräteseitig zu verhindern.

- E4: Bei total intravenösen Anästhesien und Regionalanästhesien kommt es, anders als bei volatilen Anästhesien, nicht zu verfahrensimmanenten direkten Treibhausgasemissionen. Zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen ist die Nutzung total intravenöser Anästhesien und Regionalanästhesien sinnvoll, sofern sie medizinisch angemessen sind.
- E5: Medikamentenverwurf sollte aus ökonomischen und ökologischen Gründen vermieden werden. Medikamentenreste dürfen nicht ins Abwassersystem gelangen, sondern müssen fachgerecht über den zu verbrennenden Restmüll entsorgt werden.

Volatile Anästhetika (VA) und Lachgas wirken in der Erdatmosphäre als potente Treibhausgase. Sevofluran und Desfluran zählen zu den Fluorkohlenwasserstoffen (FKW). Isofluran, Enfluran und Halothan haben als Fluorchlorkohlenwasserstoff (FCKW) zusätzlich ozonschädigende Effekte. Gleiches gilt auch für Lachgas (N<sub>2</sub>O) [22,27–30]. Die klimaschädliche Potenz der VA ist erheblich höher als die von CO<sub>2</sub>. Sie wird als Treibhauspotential in Relation zum Effekt von CO<sub>2</sub> erfasst (**Global Warming Potential**, GWP). Dafür wird von den maßgeblichen Institutionen wie dem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), der United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), der United States Environmental Protection Agency (US EPA) und der European Environmental Agency (EAA) ein Betrachtungszeitraum von 100 Jahren gewählt (GWP100) [28,30–34] (Tab. 1).

An der Nutzung des GWP zur Beurteilung der Klimaschädlichkeit von VA wurde in jüngster Zeit Kritik geübt. Da die Verweildauer der VA in der Tropopause im Vergleich zu CO<sub>2</sub> relativ kurz ist, sei eine vollständige Verteilung in den relevanten atmosphärischen Schichten unklar und Abbauprozesse nicht ausreichend berücksichtigt. Daher sei der Treibhauseffekt von VA vermutlich geringer als vermutet [37]. Dieser Po-

sition wird wiederum von anderen Klimaforschern widersprochen, da die Prozesse, wie einzelne Treibhausgase in der Atmosphäre wirken, zwar nicht in allen Details geklärt seien und die Klimaforschung immer auf komplexen Modellen beruhe, das Konzept der GWP aber eine anerkannte und sinnvolle Annäherung darstelle und zudem weiterhin von allen relevanten Institutionen für hunderte von Stoffen genutzt werde [33–35].

Zusätzlich zum Treibhauspotential pro genutzter Stoffmenge muss der unterschiedlich hohe Verbrauch von VA für das Erreichen der ausreichenden minimalen alveolären Konzentration (MAC) in die Betrachtungen miteinbezogen werden. Im **Steady-State** und unter gleichen Flussraten wird bei einer Allgemeinanästhesie mit Desfluran ca. 50-mal so viel CO<sub>2</sub>-Äquivalent emittiert wie bei einer Allgemeinanästhesie mit Sevofluran.

Im **Steady-State** einer Allgemeinanästhesie verdoppeln sich die Emissionen der VA bei einer Verdopplung der Flussrate [30,32,38–40]. Eine Narkoseaufrechterhaltung im **Minimal-Flow** ist daher in jedem Fall sinnvoll. Hohe Frischgasflüsse sollten Situationen vorbehalten bleiben, in denen eine rasche Änderung der Narkosetiefe notwendig ist. Auch zur Narkoseausleitung sollten hohe Flussraten nur bei abgedrehtem Vapor verwendet werden [39]. Aufkle-

**Tabelle 1**

Global Warming Potentials und atmosphärische Lebensdauern von inhalativen Anästhetika [35,36].

	GWP100	Atmosphärische Lebensdauer (in Jahren)
CO <sub>2</sub>	1	*
N <sub>2</sub> O	273	109,0
Sevofluran	144	1,4
Desfluran	2.590	14,1
Isofluran	539	3,5

\* Für CO<sub>2</sub> wird keine atmosphärische Lebensdauer mehr angegeben, da der größere Teil des abgegebenen CO<sub>2</sub> für hunderte resp. tausende von Jahren in der Atmosphäre verbleibt.

ber auf Vaporen können im klinischen Alltag die Anwendung eines konsequent niedrigen Frischgasflusses unterstützen [41,42]. Entsprechende Aufkleber auf Deutsch sind über die Homepage des Forum Nachhaltigkeit erhältlich [43].

Volatile Anästhetika werden im Bereich der klinischen Anästhesie derzeit meist vollständig in die Umwelt abgegeben. Der dadurch verursachte Treibhauseffekt ist erheblich. Für England wurde geschätzt, dass 3 % der Treibhausgasemissionen des National Health Service (NHS) aus der Verwendung von VA stammen [44]. Die weltweiten Emissionen durch VA wurden 2014 auf 3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent geschätzt. Der Treibhauseffekt von Lachgas ist hierbei noch nicht berücksichtigt. Insgesamt 80 % dieser CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen ließen sich allein auf Desfluran zurückführen [22]. In einer durchschnittlichen Abteilung für Anästhesiologie verursachen die VA, je nach Nutzung, von 3,5 bis 118,3 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Anästhesiefall [45,46]. Bei 10.000 Anästhesiefällen im Jahr entspricht dies dem jährlichen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von bis zu 200 durchschnittlichen Bundesbürgern, d. h. die Anästhesistin oder der Anästhesist verfünffacht den persönlichen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck allein durch die berufliche Tätigkeit.

Hieraus ergeben sich konkrete Handlungsoptionen für die Anästhesie-Teams: Durch die Vermeidung von Desfluran konnten 67 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen in einer Abteilung für Anästhesiologie in Deutschland vermieden werden [46]. In einer US-amerikanischen Untersuchung konnten durch eine Kombination von Reduktion des Frischgasflusses und der Vermeidung von Desfluran und Lachgas bis zu 90 % der VA induzierten CO<sub>2</sub>-Äquivalente reduziert werden [47].

In Schottland wurde die Verwendung von Desfluran bereits 2023 beendet, der NHS in England wird die Verwendung von Desfluran 2024 einstellen. Auch in weiteren Ländern nimmt die Nutzung von Desfluran aus ökologischen Gründen deutlich ab [48,49].

Die European Society of Anaesthesiology and Intensive Care (ESAIC) rät in

ihrer Glasgow Declaration von der Nutzung von Desfluran und Lachgas ab, da umweltschonendere und klinisch äquivalente Alternativen existieren [50]. Europäisches Parlament und Europäischer Rat haben am 7. Februar 2024 die aktualisierte Verordnung EU 2024/573 über fluorierte Treibhausgase erlassen, in welcher die Nutzung von Desfluran als VA ab dem 01.01.2026 wegen des erheblichen Treibhausgaspotentials prinzipiell nicht mehr zulässig ist. Eine Ausnahme sieht die Verordnung nur dann vor, wenn die Anwendung von Desfluran zwingend notwendig ist und aus medizinischen Gründen kein anderes VA verwendet werden kann. Hierbei wird dem Anwender eine Dokumentationspflicht für jeden Einzelfall auferlegt. Die anderen VA sind in der aktualisierten Verordnung erwähnt, aber nicht reglementiert. Hiermit folgen EU-Parlament und EU-Rat ihrer allgemeinen Linie in der aktualisierten F-Gas-Verordnung, die klimaschädlichsten Alternativen innerhalb der F-Gase aus dem Verkehr zu nehmen [51]. Da ein nachweisbarer, klinisch zwingender Zusatznutzen von Desfluran gegenüber den anderen VA in Bezug auf messbare, patientenrelevante Outcome-Parameter auf Basis der aktuellen Studienlage nicht zu erkennen ist [52], wird die geforderte Nachweispflicht beim Einsatz von Desfluran schwierig zu erfüllen sein. Zu bemerken ist aber, dass diese Beschränkung der Nutzung von Desfluran in der EU von Seiten der ESAIC aus dem Gesichtspunkt der Sicherheit der Arzneimittelversorgung mit VA kritisch diskutiert wird [53].

Verschiedene technische Lösungen wurden entwickelt, um VA und Lachgas wiederaufzufangen, anstatt sie direkt in die Umwelt abzugeben. Mit deren Hilfe können sie thermisch, katalytisch oder photochemisch zerstört oder alternativ zur Wiederverwendung aufbereitet werden [38,39,54–56]. Es sind bereits Systeme in klinischer Verwendung, um in der Geburtshilfe verwendetes Lachgas aufzufangen und durch thermische Katalyse zu zerstören [38,55]. Zu bemerken ist, dass ein erheblicher Anteil des Lachgases auf dem Weg zur Patientin durch Verluste im Leitungssystem oder aus

technischen Gründen verloren geht. Auch beim Wiederauffangen gehen ca. 30 % verloren, sodass die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei einem Lachgas-basierten Analgesieverfahren in der Geburtshilfe um den Faktor 100 höher sind als bei alternativen, z. B. regionalanästhesiologischen Verfahren [57].

In zahlreichen Ländern sind Aktivkohle-basierte Filtersysteme erhältlich, die VA am Auslass des Anästhesiegerätes oder dem Ausatemschlenkel des Intensivrespirators auffangen. Nach Destillation aus dem Filter, Aufreinigung und Sterilisation kann das VA erneut zur Patientenbehandlung eingesetzt werden. Insofern sind VA die erste Medikamentengruppe, in denen ein echtes Recycling im Sinne einer „circular economy“ möglich ist. Die Aktivkohlefilter werden bereits in zahlreichen Krankenhäusern eingesetzt, auch wenn weiterhin technische und regulatorische Anforderungen zu bedenken sind [58]. In einer ersten Anwendungsbeobachtung zeigte sich der Wirkungsgrad (Recovery Rate) mit durchschnittlich 25 % in Bezug auf die eingesetzte Menge an VA als begrenzt [59]. In anderen Anwendungsbeobachtungen, z. T. mit einem anderen Filtertyp, zeigten sich Recovery Rates von 43–51 % resp. 48 % [60,61]. Es wird vermutet, dass ein relevanter Anteil des intraoperativ eingesetzten Narkosegases erst nach der Extubation abgeatmet wird und ein Teil aus technischen Gründen nicht recycelt werden kann, ferner werden methodische Limitationen der Anwendungsbeobachtungen diskutiert [52,59,60,62]. Auch wenn ein Filtersystem genutzt wird, gelten daher die oben genannten Empfehlungen bezüglich Wahl des VA, Nutzung von Minimal-Flow etc. Weitere Forschungsdaten zur Pharmakokinetik und Wiederaufbereitung der VA sind notwendig, um das Recyclingpotential der Filtersysteme zu bestimmen. Zumindest werden auch bei einer Verbrennung der VA-Reste in den Filtern bei 1400 °C keine relevanten Treibhausgasmengen freigesetzt, da es zu einem Zerstören der stofflichen Reste kommt [62].

Bislang liegt kein öffentlich zugängliches Life Cycle Assessment in einem „Cradle

to Grave“-Ansatz für diese Narkosegasfilter vor, sodass eine abschließende Beurteilung der Kosteneffizienz dieses Ansatzes, CO<sub>2</sub>-Emissionen zu vermeiden, noch nicht möglich ist [63]. Hierbei könnte das Einsparen der Atemgasfortleitung bei Nutzung von Filtern ein erheblicher Faktor sein, der die Anwendung ökonomisch wie ökologisch entscheidend verbessert [64,65], s. u. im Abschnitt E „Energiemanagement“. Des Weiteren ist in Bezug auf die Ökonomie des Verfahrens von entscheidender Bedeutung, inwieweit Treibhausgasemissionen durch VA oder Lachgas unter die Regulatorik des CO<sub>2</sub>-Emissionshandels fallen. Bislang werden diese Emissionen nicht erfasst, was es für den Anwender möglich macht, Emissionen zu verursachen, ohne dafür die Kosten tragen zu müssen [66].

Bezüglich der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Herstellung, Vertrieb und Vernichtung fehlen genaue Daten von fast allen anderen Medikamenten, welche für Anästhesien häufig verwendet werden, sodass aktuell hierzu keine detaillierten Aussagen bezüglich einzelner Medikamente getroffen werden können.

Da bei der Verwendung von Verfahren wie total intravenösen Anästhesien (TIVA) oder Regionalanästhesien keine direkten Emissionen von Treibhausgasen entstehen, liegen die verfahrensspezifischen Emissionen deutlich unter denen einer inhalativen Anästhesie [38,39,67–69]. Allerdings sind stets der Gesamtprozess zu bedenken und lokale Besonderheiten zu berücksichtigen. So zeigte sich in einer viel diskutierten australischen Studie die Nutzung einer Spinalanästhesie gegenüber der Allgemeinanästhesie in der Knie-Endoprothetik in Bezug auf die verursachten Treibhausgasemissionen sogar als nachteilhaft. Ursächlich waren einerseits eine konsequente Nutzung von Minimal-Flow und eine sehr geringe Quote an Einwegartikeln bei der Allgemeinanästhesie, andererseits aber hohe Emissionen induziert durch sterile Kittel, welche bei der Anlage von Spinalanästhesien in Australien und anderen Ländern üblich sind. Auch zeigte sich, dass bei allen Patientinnen und Patienten mit einer Spinalanästhesie routinemäßig

hohe Mengen an Sauerstoff per Maske zugeführt wurden. Da in Australien die Energieaufwendungen für die Erzeugung von Sauerstoff im Wesentlichen mit Strom aus Kohlekraftwerken erzeugt werden, führte auch dies zu erheblichen Emissionen [70]. Unter den anderen Bedingungen und Behandlungsstrategien in Deutschland würde ein vergleichbares Studiendesign hierzulande vermutlich zu anderen Ergebnissen führen.

Wenn es zu relevantem Verwurf von Medikamenten kommt, ist es sinnvoll, kleinere Ampullengrößen zu erwägen [39]. In besonderen Situationen kann eine Umstellung von Propofol in 50- und 100-ml- Ampullen auf 20-ml-Ampullen den Verwurf um über 90 % reduzieren [71], was auch Kosten einsparen kann [72]. Hierbei ist eine Gesamtbetrachtung, auch unter Berücksichtigung des Abfalls (s. u.), notwendig. Auch Notfallmedikamente, die routinemäßig aufgezogen, aber später nicht verwendet werden, verursachen vermeidbare Kosten und Abfall [73]. Es ist zu erwägen, diese unter entsprechenden hygienischen Bedingungen in der Apotheke als länger nutzbare Fertigspritzen herstellen zu lassen oder als Fertigspritzen zu erwerben. Dies vermindert auch das Risiko fehlerhafter Zubereitung bei Verdünnungsschritten und die bakterielle Kontaminationsgefahr [26].

Das **Drug Therapeutic Committee** des **Stockholm County Council** in Schweden hat eine Umweltklassifikation für Pharmazeutika entwickelt. Der **Hazard Score** (beruhend auf dem früheren **Persistence Bioaccumulation and Toxicity (PBT) Index**) dient dazu, die Risiken von Medikamenten auf die Umwelt einzustufen. Wo immer möglich, sollte der Score bei der Medikamentenwahl zu Rate gezogen werden, um Medikamente mit möglichst geringem umweltschädigendem Effekt zu verwenden. Leider existiert für viele anästhesiologische Medikamente noch keine entsprechende Einstufung [74].

Verworfenen Medikamente können durch nicht fachgerechte Entsorgung über das Abwasser in die Umwelt gelangen. So sind Propofol-Rückstände im Abwasser

von Krankenhäusern nachweisbar [75]. Die mögliche Umweltgefährdung durch Propofol wird intensiv diskutiert, u. a. auch als Argument gegen den vermehrten Einsatz von TIVAs. Die Abschätzung der Ökotoxizität eines einzelnen Stoffes ist aber außerordentlich komplex [76]. Propofol ist potentiell in der Umwelt persistent, es ist weder in Wasser noch unter aeroben oder anaeroben Bedingungen biologisch abbaubar. Dennoch ist das Bioakkumulationspotential gering. Propofol weist eine hohe akute Toxizität auf [77]. Auf Basis der erwarteten Umweltkonzentration und der abgeschätzten Konzentration, unterhalb derer eine Gefährdung der Umwelt nicht zu befürchten ist, wird Propofol gegenwärtig aber als Substanz mit niedrigem Umweltrisiko eingeschätzt [76,78], während einige Antibiotika (wie z. B. Erythromycin oder Clarithromycin) und Schmerzmittel (wie z. B. Ibuprofen oder Diclofenac) eine deutlich höhere Gesamt-Ökotoxizität aufweisen [76].

Alle Abteilungen müssen ein System zur fachgerechten Entsorgung von Medikamentenrückständen etablieren. Schulungen der Mitarbeiter sind notwendig, um diese umzusetzen.

Das Entsorgen unverbrauchter Medikamentenreste in den Abguss ist ökologisch inakzeptabel. Nur Vollelektrolytlösungen, in die keine Medikamente zugegeben wurden, können bedenkenlos in den Abguss entleert werden. In der Regel müssen Medikamentenreste hingegen verbrannt werden. Die notwendigen Temperaturen sind hierbei unterschiedlich [39]. In der ersten Version dieses Positionspapiers aus dem Jahr 2020 wurde als Temperatur für die Zerstörung von Propofolrückständen 1000 °C für mindestens 2 Sekunden angegeben. Dies basierte auf einer US-amerikanischen Publikation [71]. Dies wäre insofern problematisch, als dass die meisten Verbrennungsanlagen in Deutschland nur 850 °C als Verbrennungstemperatur nutzen. Ein Review der existierenden Stoff-Datenblätter zu Propofol, eine Anfrage beim deutschen Hersteller und Konsultation mit der Abteilung für Pharmazeutische und Medizinische Chemie des Pharmazeutischen Institutes der



Christian-Albrechts-Universität zu Kiel ergaben, dass die Zünd- und Zersetzungstemperatur von Propofol unter 600 °C liegt (Prof. Peifer, persönliche Kommunikation 22.12.2023). Propofol kann somit – wie die meisten in der Anästhesiologie verwendeten Medikamente – gemäß den entsprechenden Abfallentsorgungsvorschriften der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) zur Entsorgung von Abfällen aus Einrichtungen des Gesundheitswesens nach dem Schlüssel AVV AS 18 01 09 als ungefährlicher Abfall in den üblichen Verbrennungsanlagen verbrannt werden, ohne dass relevante Rückstände in der Umwelt zu erwarten sind [39,79]. Da die Medikamentenentsorgung pragmatisch und fehlerresistent organisiert sein sollte, ist zu empfehlen, Medikamentenreste in Zellstofftücher zu entleeren und in den zu verbrennenden Restmüll zu geben.

## B. Sachartikel

- E1:** Der zunehmende Ersatz von Mehrweg- durch Einwegprodukte sollte kritisch hinterfragt werden. Es sollte darauf hingearbeitet werden, wieder verstärkt Mehrwegprodukte zu nutzen, um eine Kreislaufwirtschaft im Gesundheitssektor zu ermöglichen.
- E2:** Die Nutzung von Mehrwegtextilien (wie z. B. sterile und unsterile Kittel, OP-Hauben und Abdecktücher) sollte umgesetzt werden.
- E3:** Insbesondere Einwegartikel aus Metall haben eine schlechte CO<sub>2</sub>-Bilanz und ein Ersatz durch Mehrwegprodukte ist dringend angeraten.
- E4:** Es ist zu fordern, dass für alle Medizinprodukte und Medikamente durch den Hersteller ein vollständiges **Life Cycle Assessment** nach einheitlichen Kriterien ausgewiesen wird. Bei der Beschaffung sollten nachhaltige Auswahlkriterien verankert werden.

**E5:** Einheitliche und evidenzbasierte Richtlinien zur angemessenen hygienischen Aufbereitung von Medizinprodukten sind zu fordern.

Einwegmaterialien sind im Bereich der Anästhesiologie und Intensivmedizin ubiquitär präsent und verdrängen zunehmend Mehrwegprodukte. Als Hauptfaktoren bei der Entscheidung zwischen Einmal- vs. Mehrwegprodukten werden hygienische Bedenken, Bequemlichkeit und Kosten genannt. Umweltgedanken spielen weiterhin nur eine untergeordnete Rolle [26].

Zu einer wachsenden Anzahl medizinischer Produkte liegt ein vollständiges Life Cycle Assessment vor. Es zeigt sich ein oft deutlicher ökologischer Nutzen von Mehrwegprodukten gegenüber den Einwegmaterialien. Dieser geht zudem mit Kosteneinsparungen von 17–94 % einher. Ein erhöhtes Infektionsrisiko durch Mehrwegartikel konnte nicht nachgewiesen werden [80,81].

- Einwegtextilien machen einen nennenswerten Anteil des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks der für eine Operation benötigten Produkte aus [82]. Waschbare, wiederverwertbare OP-Textilien (OP-Mäntel, Abdecktücher) haben verglichen mit Einmaltextilien einen ca. 30–50 % geringeren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck. Einwegartikel verbrauchen 200–300 % mehr Energie, 250–330 % mehr Wasser und produzieren 750 % mehr Müll [83–86].
- Unsterile Mehrwegtextilien (wie z. B. Iso-Kittel auf Intensivstationen) bieten einen substantiellen ökologischen Nutzen gegenüber den Einwegvarianten [87,88]. In einer Studie konnten die Treibhausgasemissionen hierdurch um ca. 2/3 und der Wasserverbrauch um ca. 80 % im Vergleich mit Einwegkitteln reduziert werden [83].
- Beim Vergleich von Einweg- mit Mehrweg-Medikamentenschalen schnitten die Mehrwegartikel in ökologischer und ökonomischer Sicht besser ab [89].

- Wiederverwertbare Larynxmasken zeigten in allen untersuchten Dimensionen deutlich geringere negative ökologische Effekte [90]. Bei Nutzung von Einweglaryngoskopen liegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen 16–25-fach höher als bei Mehrweginstrumenten aus rostfreiem Stahl, besonders, wenn nicht nur Laryngoskopspatel, sondern auch die Handgriffe Einwegmaterialien sind [91,92].
- Neue LCA bestätigen zudem den ökologischen Vorteil von Mehrwegprodukten für sterile Sets zur ZVK-Anlage [93], Sammelbehälter für spitze Gegenstände [94], Pulsoxymeter [95] und Blutdruckmanschetten [96]. Mehrweg-Bronchoskope sind im Vergleich zu Einweg-Bronchoskopen aus ökologischer Sicht zu bevorzugen [97].

Die Aufbereitung von medizinischen Mehrwegprodukten muss nach Medizinprodukte-Durchführungsgesetz (MPDG) und Medizinprodukte-Betreiberverordnung (MPBetreibV) validiert und hygienisch korrekt erfolgen. Darüber hinaus gehende Anforderungen erbringen keinen Zusatznutzen, erzeugen aber vermehrte ökologische und ökonomische Kosten. Ein Vorschlag für eine hygienisch angemessene Klassifikation und entsprechende Aufbereitung von anästhesiologisch besonders relevanten Produkten ist in Tabelle 2 dargestellt [98].

Auch in der Anästhesie oder auf der Intensivstation werden sterile Sets mit Mehrweginstrumenten verwendet, z. B. für die Anlage von Thoraxdrainagen. Bei solchen Sets ist es ab einem Inhalt von 10 oder mehr Instrumenten sinnvoll, diese gemeinsam im Set zu verpacken und wiederaufzubereiten, auch wenn nicht jedes Instrument verwendet wurde. Eine einzelne Aufbereitung und Verpackung der Einzelinstrumente zeigte sich ökologisch unterlegen [99].

Bei der Wahl der Verpackung von aufbereiteten Mehrwegprodukten sollten ökologische Faktoren einfließen. Mehrweg-Aluminium-Hartcontainer er-

**Tabelle 2**  
Klassifikation und Aufbereitung von anästhesiologisch relevanten Medizinprodukten [98].

Artikel	Material	Risikoklassifikation	Mögliche Aufbereitungsverfahren	Verpackung
Laryngoskopspatel	Edelstahl	sk A	Manuelle Reinigung und Desinfektion – besser RDG	Verhindert Rekontamination
Videolaryngoskopspatel	Verschiedene Metalle: Stahl, Aluminium, Titan, Kupfer; Glas	sk A (B)		
Handgriff Laryngoskop	Edelstahl	uk A	Wischdesinfektion	Nicht notwendig
Handgriff Videolaryngoskop	Polykarbonat oder andere Thermokunststoffe			
Führungstab für Endotrachealtuben	PVC (Aluminium mit Kunststoffummantelung)/Edelstahl	sk A	Manuelle Reinigung und Desinfektion – besser RDG	Verhindert Rekontamination Sterilgut-Barriere
Larynxmaske, Mehrweg	Silikon, Polyester, Polypropylen	sk B	Manuelle Vorreinigung (Ultraschall) – RDG	Verhindert Rekontamination
Guedeltubus	Polyurethan/Polyethylen			
Wendltubus	Wirupren/PVC/Weichgummi/Siliko-Latex			
Beatmungsmaske	Silikon	uk A (B)	Manuelle Vorreinigung (Ultraschall) – RDG	Verhindert Rekontamination
Beatmungsschlauch	PVC, Polypropylen, Polyethylen	uk B	RDG	Verhindert Rekontamination
Beatmungsbeutel	Silikon			

uk: unkritisch; sk: semikritisch; k: kritisch; PVC: Polyvinylchlorid; RDG: Reinigungs- und Desinfektionsgeräte.

zeugen bei ausreichend hohen Verwendungszyklen die geringste CO<sub>2</sub>-Belastung. Ersetzt man diese durch Einweg-Bogen-(Weich-)Verpackungen (auch Vlies oder im Englischen „blue sterile wrap“ genannt), entstehen – bezogen auf 5000 Verwendungszyklen – ca. 6-mal so hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen. Wenn das Einwegvlies recycelt wird, liegt der Faktor bei 3-mal [100,101]. Entscheidend für die Ergebnisse der Hartcontainer ist die CO<sub>2</sub>-Bilanz der verwendeten Energiequelle, die Größe, Auslastung und Effizienz der Aufbereitungsmaschinen sowie eine passgenaue Größe der Hartcontainer [99].

Die Gewinnung von Metallen aus Erzen ist extrem energieintensiv und führt zu einem sehr hohen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck [45,102]. Die Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene e. V. weist darauf hin, dass die Nutzung von Einweginstrumenten aus Metall (Laryngoskope, Scheren, Nadelhalter, Pinzetten etc.) bedenkl ich ist, da es neben dem hohen Ressourcenverbrauch durch irrtümliches Einbringen dieser Einwegprodukte in den Sterilisationsprozess zu einer Korrosionsgefährdung auch der übrigen Instrumente kommen kann [103]. Zudem werden zahlreiche Einwegprodukte

unter problematischen ethischen Bedingungen in Ländern des globalen Südens hergestellt [104]. Einweginstrumente aus Metall sollten wo immer möglich durch Mehrweginstrumente ersetzt werden. Wo dies nicht möglich erscheint, ist zumindest ein effektives Recycling zu fordern. Eine Tonne recycelter Stahl reduziert die CO<sub>2</sub>-Emissionen um ca. 80 % verglichen mit der Produktion von Metall aus Rohmaterialien [105,106]. Wenn Mehrwegprodukte aus Metall beschädigt sind, sollten sie wenn möglich repariert statt ersetzt werden [107].

LCAs bieten die Möglichkeit, ökologische Faktoren mit in die Einkaufsentscheidung einzubeziehen. LCAs sind spezifisch für die jeweilige geographische Region, da Energiequellen und Transport sehr variabel sind. Extrapolationen sind darum mit Umsicht zu betrachten und nationale LCAs von den Herstellern zu fordern [26,108]. Zum Beispiel schneiden Mehrwegartikel in Ländern mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien besonders gut ab (z. B. in Europa). Hingegen verschiebt sich die Bilanz in Ländern mit sehr hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kilowattstunde (z. B. Australien) hin zum Einwegprodukt [109]. Im National Health Service in

Großbritannien werden ab 2028 nur noch Produkte mit ausgewiesenem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck akzeptiert [110], was als Vorbild für Deutschland dienen könnte. Einheitliche Erhebungsmuster für LCAs und CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke sind dringend notwendig.

PVC (Polyvinylchlorid) ist ein Polymer, welches in ca. einem Viertel aller Medizinprodukte aus Plastik verwendet wird. Beispiele sind Katheter, Urin-, Dialyse-, Blut- und andere Infusionsbeutel, außerdem findet sich PVC in Handschuhen, Sauerstoffmasken und -schläuchen sowie in Absaugsystemen [111,112]. PVC-Polymere können Umwelt- oder Gesundheitsprobleme über den gesamten Lebenszyklus von der Produktion über die Verwendung bis zur Entsorgung verursachen [113,114]. Phthalat-Weichmacher, die in PVC verwendet werden und z. B. in Infusions- und Transfusionssets, Ernährungs sonden oder ECMO-Verbrauchsmaterialien gefunden werden [115], sind gesundheitsschädlich. Sie sind endokrine Disruptoren und führen daher zu Fertilitätsproblemen. Zudem sind sie entwicklungs- und reproduktionstoxisch und begünstigen respiratorische Erkrankungen, Adipositas im Kindesalter sowie



neuropsychologische Störungen. Außerdem zeigt sich eine positive Korrelation zwischen der Exposition und Bluthochdruck sowie möglicherweise Atherosklerose [113,116–120]. Zu hohe Weichmacherkonzentrationen wurden bereits in Patientinnen und Patienten und v. a. in Neonaten auf Intensivstationen nachgewiesen [121–123]. PVC kann bereits in zahlreichen Medizinprodukten substituiert werden, sodass vom Einkauf entsprechende Spezifikationen von den Herstellern eingefordert und PVC-freie Produkte nachgefragt werden sollten [124].

### C. Abfallmanagement

- E1:** Das Konzept der 5 Rs des Abfallmanagements (**Reduce, Reuse, Recycle, Rethink und Research**) sollte implementiert werden.
- E2:** In allen OP-Bereichen und Intensivstationen sollte ein funktionierendes Recyclingkonzept für Abfall nachgewiesen werden.
- E3:** Es ist zu fordern, dass Verpackungsmaterial reduziert wird und Verpackungen aus Papier oder möglichst sortenreinem Plastik hergestellt werden, welche hochwertig recycelt werden können.
- E4:** Da gefährliche Abfälle durch ihre besondere Entsorgungsart sehr hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen, sollten gewöhnliche Abfälle nicht als gefährlich eingestuft und entsorgt werden.
- E5:** Eine gute Zusammenarbeit mit anderen Berufsgruppen (v. a. operative Fächer, Gesundheitsfachberufe, Hygiene, Transportdienste, Abfallmanagement, Logistik, Reinigungspersonal) ist essentiell, um ein umfassendes Abfallkonzept innerhalb eines Krankenhauses implementieren zu können.

Ca. 20–30 % des Krankenhausabfalls entsteht im OP, 25 % davon in der Anästhesie, wovon ein großer Teil aus

Verpackungen besteht [125,126]. Pro Fall generiert ein OP zwischen 7,62 kg und 16,39 kg Abfall [45]. Auch auf Intensivstationen fallen, besonders bei infektiösen Patienten, große Mengen vermeidbarer Abfall an [127].

In einer australischen Arbeit wurde die Abfallmenge während der Behandlung von zehn Intensivpatienten im Laufe einer Woche mit 540 kg quantifiziert, wovon 60 % einem Recycling hätten zugeführt werden können, wenn entsprechende Unterweisungen und Prozesse implementiert gewesen wären [126].

In einer umfangreichen Analyse auf einer 56 Betten umfassenden Intensivstation in Amsterdam wurden das gesamte Verbrauchsmaterial, der Energie- und Wasserverbrauch sowie die gesamte Abfallmenge systematisch über ein Jahr erfasst [88]. Diese Studie ist insofern aufschlussreich, als dass es sich hierbei um die erste longitudinale Querschnittsuntersuchung unter Einschluss von ca. 2.900 Patienten mit etwa 13.000 Behandlungstagen handelt. Pro Patient und Tag wurden 108 Einmalhandschuhe, 34 Infusionsbeutel, 24 Spritzen sowie 23 Tuben, Konnektoren oder andere Verbindungsstücke verbraucht. Es ergab sich für den gesamten Beobachtungszeitraum von einem Jahr eine Abfallmenge in Höhe von 247.000 kg, was pro Patient und Tag einem Abfallanteil in Höhe von 17 kg und einem CO<sub>2</sub>-Äquivalent in Höhe von 12 kg entsprach. Zusätzlich wurden pro Patient und Tag 300 l Wasser verbraucht.

Das Konzept der 5 Rs (**Reduce, Reuse, Recycle, Rethink, Research**) wurde geprägt, um den stetig wachsenden Anfall von Müll zu reduzieren [108]. Hierbei gilt eine klare Hierarchisierung: Am wichtigsten und effektivsten ist die Vermeidung einer Verwendung nicht notwendiger Materialien (**Reduce**). Notwendige Produkte sollten – wo immer möglich – wiederverwendet werden (**Reuse**). Der Abfall, der danach noch anfällt, sollte stofflich möglichst hochwertig aufgearbeitet und für neue Produkte verwendet werden (**Recycle**). Für all dies und für Materialien, für welche keine der angegebenen Strategien genutzt werden

kann, gilt es, neue Lösungsstrategien zu finden und Innovationen zu realisieren (**Rethink, Research**).

### Reduce:

Weniger Ressourcen zu verbrauchen und Abfall zu reduzieren ist ein sowohl ökologisch als auch ökonomisch nachhaltiges Konzept [128]. Es gibt eine Vielzahl an Möglichkeiten, Material einzusparen, ohne Patientensicherheit oder Qualität zu gefährden.

Folgende Maßnahmen seien als Beispiele genannt:

- Beatmungsschläuche können (außer bei Verschmutzungen oder infektiösen Patienten) bei Nutzung von individuellen Atemsystemfiltern 7 Tage genutzt werden. Mehrere Studien zeigten keine erhöhte Keimzahl in den Schläuchen nach 24 Stunden vs. 7 Tagen [129–132], sodass die DGAI und die Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene e. V. (DGKH) ein solches Vorgehen empfehlen [133]. Zudem sollte die Verwendung von wiederaufbereitbaren Schlauchsystemen erwogen werden [130].
- Fertig gepackte Sets, zum Beispiel zur Anlage von ZVKs oder Regionalanästhesien, sowie OP-Siebe enthalten häufig unnötige Einmalmaterialien, Plastik oder Kompressen. Der Inhalt solcher Sets sollte regelmäßig auf Sinnhaftigkeit geprüft werden, da viele Inhaltsbestandteile häufig ungenutzt verworfen werden [134]. Diese können auf Anfrage meist kosteneffektiv durch die Hersteller eliminiert werden [135].
- Die Indikationsstellung von Untersuchungen oder Tests sollte stets kritisch erfolgen – wie beispielsweise die präoperative Routineblutentnahme bei gesunden Patienten vor kleinen, elektiven Eingriffen [136]. Ein effektives Patient Blood Management ist letztlich ein auch ökologisch sinnvoller Ansatz [137,138].
- Mit einer adäquaten Mitarbeiter-schulung lässt sich der inadäquate Gebrauch unsteriler Handschuhe reduzieren. Das Tragen solcher Handschuhe kann, wenn nicht aus

hygienischen Gründen indiziert, zu einem Gefühl der falschen Sicherheit führen und die Übertragung von Keimen durch unsaubere, behandschuhte Hände fördern [127]. Auch während der SARS-CoV-2-Pandemie trugen Einmalhandschuhe am stärksten zum CO<sub>2</sub>-Fußabdruck durch persönliche Schutzausrüstung bei [139]. Die Durchführung solcher Analysen sollte gefordert werden, da hierdurch die Gegenstände mit den größten Einsparpotentialen aufgezeigt werden können.

- Der Verbrauch an Einwegmasken ist während der SARS-CoV-2-Pandemie weltweit stark gestiegen. Es sollte evaluiert werden, wie der damit assoziierte ökologische Fußabdruck reduziert werden kann [140–144]. Eine Polypropylen-Schicht in der Maske, Aluminium-Streifen im Nasenstück und weite Transportketten haben eine besonders schlechte Ökobilanz [143,145], was im Einkauf berücksichtigt werden sollte. Von einer nicht notwendigen Verwendung oder sehr häufigem Wechseln eines Mund-Nasen-Schutzes ist daher abzusehen.
- Die Größe von Infusionsbeuteln sollte der gewünschten Menge intravenöser Flüssigkeitsgaben entsprechen. Da die Hauptemission nicht durch die Infusionslösung, sondern durch den Beutel verursacht wird, sind die Emissionen pro Milliliter für große Beutel geringer, während kleine Beutel geringere Gesamtemissionen zur Folge haben [146].

Die Durchführung von Material-Flow-Analysen (z. B. [88]) sollte gefordert werden, da somit die Gegenstände mit den größten Einsparpotentialen aufgezeigt werden können.

### Reuse:

Zur Wiederverwendung von Material, siehe Abschnitt „Sachartikel“.

### Recycle:

Recyclingstrategien bieten die Möglichkeit, den Fußabdruck von nicht zu vermeidenden Abfällen zu verringern. Zunächst sollte aber immer das Müllauf-

kommen insgesamt reduziert werden [147], beispielsweise durch die Umstellung von Einweg- auf Mehrwegmaterialien (s. Abschnitt „Sachartikel“).

Circa 60 % des Abfalls im OP sind potentiell recycelbar. Als Hürden zu effektivem Recycling im OP werden fehlende Behältnisse und Infrastruktur, Unwissenheit, Bequemlichkeit sowie mangelnde Unterstützung genannt [148].

Im OP und auf Intensivstation können Papier/Kartonagen, Plastik, Glas, Batterien, Druckerpatronen, Elektroschrott und Metall recycelt werden. Circa 30 % des OP-Abfalls besteht aus Plastik. Darunter befinden sich Gegenstände aus Polypropylen und PET (Einwegtextilien, blaue Sterilisationsverpackungen für medizinische und chirurgische Instrumente), Polyethylen (Plastikschläuche, Becher, Schalen), Polyurethan, PVC (Absaugschläuche, Sauerstoffschläuche), Co-Polymeren und anderen Gemischen. Die Mischung ist oft ungenügend oder gar nicht deklariert. Einige Plastiksarten müssen in gesonderter Weise aufbereitet werden, zum Beispiel PVC [125]. Recyceltes Plastik benötigt nur 25 % der Energie im Vergleich zu primär hergestelltem [149]. Werden Plastiksor-tengemische recycelt, sind allerdings nur minderwertige Produkte zu gewinnen, sodass die Forderung besteht, insbesondere Verpackungen, die am leichtesten zu recyceln sind, aus sortenreinem Plastik herzustellen und passend zu deklarieren.

Der meiste Verpackungsmüll fällt beim Auspacken der Materialien an, also bevor die Patientin oder der Patient im OP-Saal ist. Werden die Recycling-Säcke verschlossen resp. das Einsammeln des Verpackungsmülls beendet, bevor der Patient in den OP gefahren wird, wird eine Kontamination verhindert [26].

Klar strukturierte Programme erleichtern die Einführung eines Recyclingprogrammes und erhöhen die Effizienz. Mülleimer und Recyclingbehältnisse sollten farblich klar gekennzeichnet, bequem zu erreichen und mit klaren Instruktionen versehen sein, was dort gesammelt werden kann. Die häufig eingeschränkten Deutschkenntnisse des Reinigungspersonals sind zu bedenken. Zudem sollte die Größe der Behältnisse an die Menge des Inhalts angepasst werden (z. B. kleine Behälter für infektiöse Abfälle neben größeren Restmüllbehältern). Eine Einbindung lokaler Recyclingfirmen und wiederholte Fortbildungen des Personals sind unabdingbar [26,150].

Wichtige Umsetzungsfaktoren sind zudem ein multidisziplinäres „Green Team“ an Freiwilligen, die die Umsetzung betreuen. Die meisten Beschäftigten sind hochmotiviert, den Umweltschutz zu fördern, sodass Recyclingprogramme gut angenommen werden [150]. Annähernd 50 % des potentiell recycelbaren Materials und damit 14 % des Gesamtmülls konnten auf einer Intensivstation dem Recycling zugeführt werden [151]. Durch ein gutes Abfallmanagement sind nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische Vorteile zu erwarten [152].

Wichtige Umsetzungsfaktoren sind zudem ein multidisziplinäres „Green Team“ an Freiwilligen, die die Umsetzung betreuen. Die meisten Beschäftigten sind hochmotiviert, den Umweltschutz zu fördern, sodass Recyclingprogramme gut angenommen werden [150]. Annähernd 50 % des potentiell recycelbaren Materials und damit 14 % des Gesamtmülls konnten auf einer Intensivstation dem Recycling zugeführt werden [151]. Durch ein gutes Abfallmanagement sind nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische Vorteile zu erwarten [152].

### Abfallentsorgung

Die verschiedenen Abfallarten erzeugen Emissionen in sehr unterschiedlicher Höhe, daher ist eine klare Trennung der Abfallarten notwendig [153,154]. In Krankenhäusern fallen ca. 60 % hausmüllähnliche Abfälle an, die mit geringem Aufwand in einer nahegelegenen Müllverbrennungsanlage, idealerweise mit Energierückgewinnung, bei 850 °C verbrannt werden können. Ca. 30 % der Abfälle sind krankenhausspezifische Abfälle aus dem Pflege- und Behandlungsbereich (z. B. spitze Gegenstände, pharmazeutische Abfälle, infektiöse Abfälle). Insgesamt sind nur ca. 10 % gefährliche Abfälle (3 % infektiöse und 7 % schadstoffhaltige Abfälle wie Chemikalien und Zytostatika) [155].

Infektiöse Abfälle müssen in speziellen Sonderabfallverbrennungsanlagen entsorgt werden [79,156]. Bei der Verbrennung von infektiösem und gefährlichem Müll bei Temperaturen ab 1.100 °C entstehen mit 949 kg CO<sub>2</sub>e/Tonne die meisten entsorgungsbedingten Emissionen (Daten für UK) [157]. Hinzu kommen weite Transportwege zu den 33 in Deutschland existierenden Krankenhausabfall- und Sonderabfallverbrennungsanlagen [156,158].

Um die abfallbedingten Emissionen zu reduzieren, sind verschiedene Abfallarten zu trennen und der Anteil an infektiösem und gefährlichem Müll so gering wie möglich zu halten [21]. Dabei sind die Definitionen für infektiösen Müll der LAGA zu berücksichtigen. Demnach sind nur solche Abfälle als infektiös zu behandeln, die mit meldepflichtigen Krankheitserregern kontaminiert sind (z. B. Blut mit HI- oder Hepatitisviren, mit Cholera, Ruhr oder Typhus kontaminierter Stuhl oder mit Tuberkulosebakterien besiedeltes/besiedelter Sputum, Urin oder Stuhl) [79]. Ein unselektiertes Entsorgen von Materialien in Sondermülltonnen sollte dringend vermieden werden [159].

Durch die Umsetzung eines Mülltrennungskonzepts auf der Intensivstation konnte in einem Fallbericht eine Verringerung der als infektiös kategorisierten Abfallmengen um 50 % erreicht werden. Damit einhergehend wurden die CO<sub>2</sub>-Emissionen um fast 40 % und die Entsorgungskosten um ca. 30 % reduziert [160].

## D. Mobilität

**E1:** Kliniken sollten alternative Mobilitätsstrategien entwickeln und fördern, um den auf fossilen Brennstoffen basierenden Individualverkehr der Mitarbeitenden sowie der Patientinnen und Patienten zu minimieren. Die klinikinterne Logistik sollte auf emissionsarme Konzepte umgestellt werden.

**E2:** In der präklinischen Notfallmedizin sowie bei Intensiv- und sonstigen Patiententransporten sollten Elektromobilität und Telemedizin genutzt werden. Die Notwendigkeit eines luftgebundenen Patiententransports sollte in jedem Einzelfall kritisch geprüft werden.

**E3:** Videosprechstunden sollten zur Vermeidung unnötiger Fahrstrecken und zur Sicherstellung einer wohnortnahen Versorgung etabliert werden.

**E4:** Für Kongressteilnahmen und Verbandsarbeit sollte präferentiell der öffentliche Personenverkehr verwendet werden. Inlandsflüge sollten vermieden werden und nur in individuell begründeten Ausnahmefällen als Reisekosten erstattungsfähig sein.

**E5:** Kongress-Streaming, Videokonferenzen und Webinare sollten angeboten werden, um reisebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren.

Mobilität macht einen relevanten Anteil des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks des Gesundheitssektors aus. Folgende vier Verkehrsbe-reiche sind zu berücksichtigen: die Fahrt der Berufstätigen zu ihrer jeweiligen Arbeitsstelle (Berufsverkehr), der Rettungsdienst, ambulante und individuelle Transporte von Patientinnen und Patienten sowie die Reisen zu Kongressen und sonstige Bildungsreisen. Um in den einzelnen Bereichen den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck zu reduzieren, sind unterschiedliche Ansatzpunkte relevant.

Im täglichen Berufsverkehr liegt der PKW-Besetzungsgrad im Mittel bei 1,4 Personen [161]. In einer Studie machte die Fahrt zum Arbeitsplatz ca. 12–39 % des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks einer Anästhesieabteilung aus [46]. Alternative, an den Wohnort angepasste Mobilitätskonzepte sind notwendig, um diese berufsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen zu begrenzen.

Zu den möglichen klinikinternen Angriffspunkten gehören [162]:

- Förderung der Fahrradinfrastruktur mit ausreichend vorgehaltenen Fahrradstellplätzen auf dem Klinikgelände und die Förderung einer guten Anbindung der Krankenhäuser an Fahrradschnellwege
- Ladestrukturen für E-Mobilität
- Vergünstigte Ticket-Angebote für den Umstieg auf den öffentlichen Nahverkehr. Eine gute Anbindung der Krankenhäuser an den öffentlichen Nahverkehr ist zu fordern.
- krankenhausinterne Pendlerportale/ Mitfahrzentralen für Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer

- Ausbau von Homeoffice-Angeboten, Videokonferenzen und Videosprechstunden
- Nach Umsetzung eines Mobilitätskonzeptes für den Berufsverkehr ist zu erwarten, dass diese verbesserte Fahrrad- und Fußgänger-Infrastruktur sowie die Angebote des öffentlichen Personenverkehrs auch von Patienten genutzt werden.

Für den Bereich des Rettungsdienstes wird eine Umstellung auf alternative, nicht fossile Antriebsarten unumgänglich sein. Eine weitere Option ist, Transportoptionen mit besonders hohem Verbrauch an fossilen Energieträgern (wie z. B. die Luftrettung) bei klinisch nicht zwingender Notwendigkeit kritisch zu hinterfragen. Angesichts der hohen Quote an Notarzteinsätzen ohne ärztliche Intervention ist die Verwendung von telemedizinischen Lösungen bereits in einigen Städten etabliert, um die Notwendigkeit zur Allokation des notärztlich besetzten zweiten Fahrzeuges zu reduzieren. So konnte nach der Einführung des Telenotarztsystems in der Stadt Aachen im Zeitraum von 2013 bis 2021 die Anzahl von Notarzteinsatzfahrten um über 40 % reduziert werden [163]. Ganz allgemein kann die Implementierung von telemedizinischen ärztlichen Konsultationen den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck deutlich reduzieren. Eine telemedizinische ärztliche Visite ist schon bei Entfernungen von mehr als 3,5 km die klimafreundlichere Alternative verglichen mit einer Anreise mit dem PKW [164]. Dies gilt auch für die Anästhesiologie [165].

Die Anzahl großer, internationaler Kongresse mit einer steigenden Anzahl eines weitangereisten Publikums nimmt stetig zu. Kongressteilnahmen können bedingt durch die notwendige Anreise über zum Teil große Entfernungen erhebliche CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen. Für einen einzelnen internationalen Kongress lag der allein durch die Anreise der Teilnehmenden verursachte CO<sub>2</sub>-Fußabdruck bei 22.000 t, was den mittleren jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen von 2.000 Bundesbürgern entspricht [166]. Insbesondere Anreisen mit dem Flugzeug sind problematisch, da Flugreisen mit 238 g pro Personenkilometer



die mit Abstand größten CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Personenkilometer sind bei Fahrten mit dem PKW (166 g/km) oder der Bahn (31 g/km) deutlich geringer [161]. Flugreisen sollten kritisch hinterfragt und immer über sinnvolle Programme kompensiert werden. Weiterhin sollte die Möglichkeit von Videoübertragungen der Kongresse ausgebaut werden. Online-Videoübertragungen von Vorträgen und interaktive Sitzungen sollten als attraktive Option angeboten werden, um auch ohne Anreise an Kongressveranstaltungen teilnehmen zu können, zumal hierdurch eine Senkung des Fußabdrucks um bis zu zwei Größenordnungen möglich ist [166,167].

## E. Energiemanagement

**E1:** Anästhesiegeräte und Intensivrespiratoren, aber auch Monitore, Spritzenpumpen und weitere medizinische Technik haben im Standby-Modus einen erheblichen Energieverbrauch. Diese Geräte sollten am Ende des Regelprogramms – vorbehaltlich des Notfallsaals – ganz ausgeschaltet werden.

**E2:** Um den hohen Energieverbrauch zum Betrieb der Atemgasfortleitungssysteme zu reduzieren, sollten diese am Ende der Regelbetriebszeit ausgesteckt werden. Eine Verwendung von Narkosegasfiltern kann es ermöglichen, auf die Nutzung der Atemgasfortleitungssysteme gänzlich zu verzichten.

**E3:** Es sollten Konzepte implementiert werden, um den beträchtlichen Energieverbrauch durch Heizung, Lüftung und Klimaanlage im OP- sowie Intensivbereich zu reduzieren, z. B. durch das Herunterregulieren der Anlagen in ungenutzten Sälen außerhalb der Regelbetriebszeit, Optimierung der Einstellung von Temperatur und Lüftung sowie eine Beschränkung der benutzerseitigen Temperaturverstellung in den OPs.

**E4:** Alle Abteilungen sollten darauf hinwirken, dass in ihren Krankenhäusern die Möglichkeiten zur Umsetzung von Energiesparmaßnahmen, zur energetischen Sanierung und zur Nutzung erneuerbarer Energien geprüft und möglichst zeitnah umgesetzt werden.

**E5:** Um den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Kliniken in Deutschland zu verringern, ist eine Umstellung auf erneuerbare Energien essentiell.

Operative Bereiche sind ebenso wie Intensivstationen generell sehr ressourcenintensive Bereiche mit einem sehr hohen Energieverbrauch [21,168]. So wurde in England der tägliche Verbrauch von elektrischem Strom pro Intensivpatient in einer Höhe ermittelt, die dem Verbrauch eines Vier-Personen-Haushaltes entspricht [169].

Bislang wurden medizinische Geräte, die in der Anästhesie oder Intensivmedizin genutzt werden, in Zeiten, in denen sie nicht benötigt werden, häufig in den Standby-Modus versetzt. Geräte im Standby-Modus verbrauchen aber 88–93 % des Energieverbrauches im Vollbetrieb und somit deutlich mehr, als zum Hochfahren der Geräte aus dem ausgeschalteten Zustand benötigt wird [170–172]. Ein routinemäßiges Ausschalten der Anästhesiegeräte allein könnte an einer deutschen Universitätsklinik, trotz Berücksichtigung der Notfallsäle, ca. 25.000 kWh oder 10 t CO<sub>2</sub> p. a. einsparen [170]. Eine vergleichbare Arbeit kam in einer anderen Universitätsklinik durch die Vermeidung des Standby-Modus zu möglichen Energieeinsparungen von 20.000–46.000 kWh und Emissionsreduktionen von 8,5–19,2 t CO<sub>2</sub> p. a. [172].

Zur Vermeidung von Kontaminationen der Umluft im OP mit VA sind an allen Anästhesiarbeitsplätzen, an denen VA genutzt werden, Atemgasfortleitungssysteme (AGFS) vorzuhalten. Der Betrieb dieser AGFS wird durch medizinische Druckluft ermöglicht, welche energie- und kostenintensiv im Krankenhaus über Druckluftkompressoren und entspre-

chende Reinigungsstufen erzeugt werden muss. Sobald das AGFS eingesteckt ist, wird mittels medizinischer Druckluft und Venturi-Effekt ein Sog aufgebaut, der die Abluft des Anästhesiegerätes in die Umgebungsluft des Krankenhauses abführt. Aktuell verbaute AGFS benötigen 14–80 l Druckluft pro Minute und Entnahmestelle und verursachen so, wenn sie außerhalb der Regelarbeitszeit nicht ausgesteckt werden, 0,5 bis 6,7 t CO<sub>2</sub> pro AGFS-Entnahmestelle p. a. und bis zu 4.000 € Stromkosten p. a. [64,173]. Die AGFS-Stecker können problemlos am Ende des Regelprogramms ausgesteckt werden. Damit der Wiederanschluss, der nur Sekunden dauert, nicht vergessen wird, kann der Stecker über das Narkosegerät gehängt werden. Durch diese einfache Maßnahme können über 70 % der assoziierten Stromkosten und 0,4–4 t CO<sub>2</sub>-Emissionen p. a. und Entnahmestelle eingespart werden [173]. Eine Alternative könnten Demand-getriebene AGFS-Systeme darstellen, welche den Druckluftverbrauch der AGFS über 90 % reduzieren und schon vor über 10 Jahren entwickelt wurden, bislang aber noch in keinem handelsüblichen Anästhesiegerät realisiert wurden [54]. Hier ist die Industrie aufgefordert, energie- und kosteneffiziente Lösungen zu erarbeiten. Durch fachgerechte Wartung der Druckluftsysteme zur Detektion von Leckagen, die ein häufiges Problem sind, und durch die Modernisierung der AGFS-Anschlüsse auf die neueste Technik können ebenfalls ein erheblicher Umfang Strom eingespart und CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden werden.

Mit der Nutzung von Narkosegasfiltersystemen ist es unter bestimmten regulatorischen Bedingungen möglich, auf die Nutzung der AGFS trotz Verwendung von VA ganz zu verzichten und damit die Kosten und Emissionen der AGFS ganz zu vermeiden [58,63].

In vielen Krankenhäusern wird neben der medizinischen Druckluft à 5 bar auch noch eine eigene 10-bar-Leitung für die Air-Motor-Geräte vorgehalten, welche aber nur sehr selten, z. B. in der Unfallchirurgie oder Herzchirurgie, verwendet werden. Wenn diese Air-Motor-Geräte durch akkubetriebene Geräte

ersetzt werden, kann das Gesamtsystem auf 5 bar gedrosselt werden, was zu erheblichen Energieeinsparungen führt.

Der Energieverbrauch der OP-Bereiche übersteigt den der übrigen Klinik um das 3- bis 6-fache. Dabei entfallen der größte Teil der Energie im OP-Bereich allein auf Heizung, Klimaanlage und Lüftung [45].

Diese CO<sub>2</sub>-Emissionen können durch Einsparungen im Energieverbrauch reduziert werden [45,168,174]. So kann durch Energiesparmaßnahmen der Verbrauch und somit der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des OP-Bereiches um 50 % reduziert werden, was auch zu deutlichen Kostenersparnissen führt [45].

Folgende praktische Schritte sollten dabei gegangen werden:

- Heizung, Lüftung und Klimaanlage laufen in vielen OP-Bereichen kontinuierlich in allen Sälen, obwohl diese häufig in mindestens 40 % der Zeit ungenutzt bleiben. Das Herunterregulieren der Anlagen in ungenutzten Sälen außerhalb der Kernbetriebszeit („**Night Setback**“ oder „**Unoccupied Setback**“), ausgenommen der nötigen Notfall-OP-Säle, kann Energieersparnisse von bis zu 50 % ermöglichen [45,175].
- Erste Optimierungsschritte bezüglich Heizung und Klimaanlage betreffen die Einstellungen der Temperaturkurven in zentralen Regelungsanlagen [174]. Bei Sälen mit hohen Temperaturen kann jede Temperaturreduktion um 1 °C die Heizenergie um 5–8 % reduzieren [174]. Insbesondere ist aber das häufige Verstellen der Temperatur in einem OP-Saal mit hohem Energieaufwand verbunden. Es ist daher sinnvoll, sich gemeinsam mit den operativen Fächern und der Haustechnik auf eine feste Temperatur zu einigen, welche dann – außerhalb von Kindersälen und OPs zur Versorgung von Verbrennungspatient:innen – nicht mehr verstellt wird. Als sinnvoller Kompromiss zwischen Vermeidung einer Hypothermie des Patienten, Komfortbedingungen für das operierende Personal und technischer

Umsetzung hat sich eine Raumtemperatur von 21 °C herausgestellt und wird auch in der S3-Leitlinie „Vermeidung Perioperativer Hypothermie“ empfohlen [176]. Dies liegt im unteren Bereich des nach DIN 1946-4 für den OP vorgesehenen Temperaturkorridors von 19–26 °C und ist daher auch im Hinblick auf Energieaufwand und Ökologie vorteilhaft. Die Wärmehomöostase des Patienten wird mit eigenen Wärmesystemen sichergestellt, nicht mit der Raumwärme [176]. Ggf. kann die technische Deaktivierung der Temperatur-Verstellungsoptionen in den OP-Sälen notwendig sein, um unbedachtes Handeln der Mitarbeitenden zu verhindern. Für Mitarbeitende, denen es im Saal zu kalt ist, muss im Gegenzug in jedem Fall angemessen warmhaltende OP-Kleidung zur Verfügung gestellt werden, z. B. in Form von zusätzlicher waschbarer langärmeliger OP-Kleidung resp. OP-Jacken.

- Bei der Lüftung ist zu empfehlen, das System zu überprüfen und die Luftwechselraten den Raumlufttemperaturen anzupassen [174]. Im europäischen Ausmaß ist es zum Teil schon üblich, Lüftungsanlagen in den operationsfreien Zeiten vollständig abzuschalten [177].
- In weniger frequentierten Bereichen (Lager- und Nebenräume, Toiletten etc.) sind Bewegungsmelder zur Steuerung der Beleuchtung sinnvoll [178].
- Traditionell im OP-Bereich verwendete Halogenlampen sollten durch LEDs ersetzt werden. Dies kann zu Energieersparnissen bei der Beleuchtung um bis zu 80 % führen [174,179]. Zudem erzeugen LEDs weniger Strahlungsenergie, was die für die Kühlung benötigte Energie reduziert [21].

Bei der Versorgung von Intensivpatienten lagen die täglichen Emissionen zwischen 88 und 178 kg CO<sub>2</sub>e/Patiententag, wobei auch hier der Energieverbrauch (dominiert vom Verbrauch durch Heizung, Lüftung, Klimaanlage) 76–87 % des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks ausmacht [168]. Um diesen zu reduzieren, wird vor allem

ein Umstieg auf erneuerbare Energien und eine Optimierung hinsichtlich der Energieeffizienz der Gebäudesubstanz empfohlen [180]. Durch ganzheitliche Energiemanagementkonzepte können Krankenhäuser ihren Energiebedarf um bis zu 30 % und die dadurch generierten CO<sub>2</sub>-Emissionen um bis zu 50 % reduzieren. Neben technischen Lösungen integrieren diese Konzepte auch Ansätze zur Optimierung des Nutzerverhaltens [42]. Solche Energiesparmaßnahmen können zu langfristigen Kostenersparnissen führen [174,181]. Die Möglichkeiten zu ihrer Umsetzung sollten von allen deutschen Krankenhäusern geprüft und realisiert werden.

Die in deutschen Krankenhäusern heutzutage häufig eingebauten Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK; auch Blockheizkraftwerke) haben eine hohe Primärenergieausbeute, da die bei der Stromerzeugung anfallende Wärme zum Heizen oder Kühlen genutzt wird. Eine hohe Energieausbeute ist jedoch nur bei optimalem Betrieb der KWK-Anlage zu erreichen. KWK-Anlagen sind als Übergangstechnologie zu betrachten, da sie aktuell in der Regel mit fossilen Brennstoffen betrieben werden [181,182]. Für einen Umstieg in Richtung einer klimafreundlichen Zukunft ist die Nutzung von erneuerbaren Energien für Strom und Heizung in Krankenhäusern unerlässlich; beispielsweise ermöglichen Windkraft, Wasserkraft, Photovoltaik, Solarthermie, Erdwärme oder Biogas eine CO<sub>2</sub>-arme Energieerzeugung, die kosteneffizient gestaltet werden kann [174,181].

## F. Forschung und Lehre

**E1:** Die Auswirkungen des Klimawandels und anderer globaler Umweltveränderungen auf die intensivmedizinische und notfallmedizinische Versorgung und Versorgungskapazitäten sind unzureichend erforscht. Entsprechende Forschungsprojekte sollten entwickelt werden, auch um ein umweltresilientes Gesundheitssystem zu fördern.

**E2:** Forschungsprojekte zur ökologischen Nachhaltigkeit sollten in allen Säulen der Anästhesiologie vorangetrieben werden.

**E3:** Alle Forschungsprojekte sollten ökologische, soziale und ökonomische Dimensionen der Nachhaltigkeit berücksichtigen. Hierfür müssen messbare und vergleichbare Indikatoren entwickelt werden. Im Fokus steht immer eine bestmögliche Patientenversorgung unter Berücksichtigung von Planetary-Health-Aspekten.

**E4:** Konferenzen, Tagungen und Fortbildungsveranstaltungen der Anästhesiologie und Intensivmedizin sollten ökologisch verantwortlich und CO<sub>2</sub>-neutral geplant, organisiert und durchgeführt werden.

**E5:** Ökologische Nachhaltigkeit im Gesundheitssektor und die Folgen der globalen Umweltveränderungen für Patienten und das Gesundheitswesen sollten integraler Bestandteil der studentischen Lehre, der ärztlichen Weiterbildung und der Ausbildung von Gesundheitsfachberufen sein. Diese soll zu einem umweltfreundlichen Verhalten motivieren.

Pulmonale, nephrologische und infektiologische Erkrankungen werden im relevanten Maße durch den Klimawandel zunehmen. Dies wird erhebliche Auswirkungen auf die benötigten Notfallmedizinischen und intensivmedizinischen Versorgungskapazitäten haben. Hier ist weitergehende Forschung notwendig, um den gesundheitlichen Folgen des Klimawandels und weiterer globaler Umweltveränderungen für die Bevölkerung bestmöglich zu begegnen und folglich ein umweltresilientes Gesundheitssystem aufzubauen [183–185].

Sowohl der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck als auch die ökologische Nachhaltigkeit im Gesundheitssektor wurden bisher nicht ausreichend untersucht. Hier sind in den

nächsten Jahren erhebliche Forschungsanstrengungen notwendig, um konkrete Möglichkeiten zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen und ökologisch nachhaltige Konzepte im Gesundheitswesen zu erarbeiten [186,187]. Forschungsprojekte in Bezug auf die ökologische Nachhaltigkeit der Anästhesiologie und Intensivmedizin sollten die Behandlungspfade mit der bestmöglichen Patientenversorgung unter Berücksichtigung von Planetary-Health-Aspekten fokussieren.

Über die ökologischen Auswirkungen von unterschiedlichen Therapieregimen ist bislang wenig bekannt. In einem systematischen Review wurde die Berücksichtigung von ökologischen Aspekten in der gesundheitsökonomischen Evaluation intensivmedizinischer Maßnahmen analysiert, aber in keiner der 278 erfassten Studien wurden ökologische Aspekte in der Bewertung der Maßnahmen berücksichtigt [188]. Dabei ist es zweifellos Konsens, dass bei zwei gleichermaßen medizinisch erfolgreichen und kostenintensiven Behandlungsstrategien diejenige zu bevorzugen ist, welche eine geringere Auswirkung auf die Umwelt hat [189].

Für die unterschiedlichen Dimensionen der Nachhaltigkeit im klinischen Alltag (z. B. sozial, ökologisch, ökonomisch) sollten mess- und vergleichbare Indikatoren entwickelt werden. Diese sollten auch in primär patientenbezogenen Forschungsprojekten miteinbezogen werden. Durch ihre Berücksichtigung in diesen frühen, evidenzschaffenden Schritten sollen nachhaltigkeitsbezogene Fakten auch für die Erstellung von Handlungsempfehlungen zur Verfügung stehen.

Veranstaltungen wie z. B. Konferenzen, Tagungen und Fortbildungen sollten eine möglichst nachhaltige und CO<sub>2</sub>-neutrale Planung und Durchführung sicherstellen. Dafür sollten unnötige Emissionen durch die Anreise, den Veranstaltungsort, die Unterbringung und Verpflegung der Teilnehmenden, die verwendeten Sachartikel und den produzierten Müll vermieden werden [190].

Als akademische Lehrerinnen und Lehrer haben wir eine besondere Verantwortung, das Wissen über Nachhaltigkeits-

aspekte der klinischen Tätigkeit unter Einbezug von fachspezifischen Planetary-Health-Aspekten durch Forschung kontinuierlich weiterzuentwickeln und an die nächste Generation der Ärztinnen und Ärzte weiterzugeben. Eine longitudinale Integration von Nachhaltigkeit und Planetary-Health-Aspekten in das Curriculum der studentischen Ausbildung ist daher unumgänglich. Sie sollte ein fester Bestandteil jeder Veranstaltung (auch von PJ-Wahlfächern, Praktika und Famulaturen) werden. Die künftigen Ärztinnen und Ärzte sollten die Auswirkungen der globalen Umweltveränderungen auf die Gesundheit von Patientinnen und Patienten, auf die klinische Arbeit und den Gesundheitssektor als Ganzes kennen lernen. Vor allem sollten ökologisch nachhaltige Behandlungspfade mit dem Ziel der bestmöglichen Patientenversorgung erlernt werden.

Ein mögliches Messinstrument, um die Qualität der medizinischen Ausbildung in dieser Hinsicht zu überprüfen, stellt die Planetary Health Report Card (<https://phreportcard.org/>) dar. Planetary-Health-Aspekte sollten auch von den Ausbildungsstätten selbst umgesetzt werden. Neben der Aufklärung sind die Förderung zur Forschung an der planetaren Gesundheit und der Nachhaltigkeit im Gesundheitswesen und die Unterstützung von Studierendeninitiativen in diesem Bereich notwendig.

Im selben Maße sind entsprechende Anstrengungen geboten, um im Rahmen der ärztlichen Fort- und Weiterbildung die Kenntnisse über eine ökologisch, sozial und ökonomisch nachhaltige Patientenversorgung zu fördern. Eine entsprechende anästhesiologische Fort- und Weiterbildung ermöglicht es Anästhesistinnen und Anästhesisten, nicht nur in ihrem klinischen Alltag tätig zu werden. Sie können auch andere Fachbereiche von der Wichtigkeit der ökologischen Nachhaltigkeit und Anpassung an Umweltveränderungen überzeugen. Aufgrund der Zusammenarbeit mit vielen anderen Fachbereichen im klinischen Alltag könnten Anästhesistinnen und Anästhesisten hier eine Schlüsselrolle einnehmen und ein breites Umdenken anstoßen.



Interprofessionelle Schulungen aller Mitarbeitenden sind essentiell, um für die Thematik zu sensibilisieren. So sollte z. B. das Krankenhauspersonal wie auch die Krankenhausverwaltung über die Wichtigkeit von Lebenszyklusanalysen der verwendeten medizinischen Geräte und des Materials aufgeklärt werden. Der Nachhaltigkeitsaspekt sollte in Qualitätskonzepten und Qualitätsverbesserungsprojekten abgebildet werden. Die Information von Patientinnen und Patienten wie auch Studierenden über aktuelle Nachhaltigkeitskonzepte und Forschungsprojekte können z. B. mit Newslettern, Podcasts, Patientenkolloquien oder über die Homepage der jeweiligen Abteilung erfolgen und sollte in regelmäßigen öffentlich zugänglichen Nachhaltigkeitsberichten abgebildet werden [186,187]. Forschungsergebnisse zur Nachhaltigkeit und Qualitätsverbesserungsprojekte über Nachhaltigkeit sollten einen festen Platz in den Publikationen, auf Kongressen und bei Fortbildungen in unserem Fach haben [187].

### G. Folgen globaler Umweltveränderungen für die Patientenversorgung

**E1:** Klimawandel und die weiteren globalen Umweltveränderungen beeinträchtigen in großem Ausmaß die Gesundheit. Sowohl die Notfall- als auch die Intensivmedizin sind in besonderer Weise verpflichtet, sich darauf einzustellen und umweltresiliente Strukturen zu schaffen, die bei Naturkatastrophen, Hitzewellen oder ungewöhnlichen übertragbaren Erkrankungen eine sofortige, effiziente und fachgerechte Behandlung ermöglichen.

**E2:** Im Bereich der Rettungsdienste und des Katastrophenschutzes müssen in enger Abstimmung mit den stationären und ambulanten Leistungserbringern und lokalen Behörden Notfallpläne entwickelt werden, um mit z. T. prolongiert

verlaufenden Extremwetterereignissen (Hitzewellen, Überschwemmungen etc.) umgehen zu können.

**E3:** Alle Krankenhäuser sind aufgefordert, Notfallpläne zu entwickeln, wie Patienten in nicht klimatisierten Bereichen vor extremer Hitze geschützt werden können. Auch die klinische Infrastruktur unter Einschluss von Personal und Material muss entsprechend berücksichtigt werden.

Die globale Erderwärmung und der Klimawandel sind in den letzten Jahren – auch in Europa – direkt erlebbar geworden, wie die Zunahme von Hitzewellen sowie von anderweitig extremen Wetterverhältnissen (Überschwemmungen, Waldbrände, Absenkungen des Grundwasserspiegels) zeigt. Die Konsequenzen des Klimawandels für die Gesundheit sind Gegenstand zahlreicher Untersuchungen und Publikationen [191]. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) rechnet mit 250.000 zusätzlichen Todesfällen weltweit pro Jahr [192]. Das Auftreten „neuer“ oder in der Ausprägung zunehmender Erkrankungen, insbesondere auch von Infektionskrankheiten, besitzt eine hohe Relevanz für die Intensivmedizin [183,193].

Exakte Daten über die Bedeutung von Hitzewellen oder Klimawandel-assoziierten Naturereignissen für intensivmedizinische Behandlungen existieren derzeit (noch) nicht. Es ist aber zu vermuten, dass auch die Intensivmedizin während extremer Wetterereignisse mehr in Anspruch genommen wird, zumal nach Berechnungen für Deutschland bei jeder Hitzewelle mit einem Anstieg der Todesfälle um ca. 10.000 zu rechnen ist [194].

Klimawandel-assoziierte Erkrankungen beziehen sich insbesondere auf das respiratorische, das kardiovaskuläre sowie das renale System: Bei vorbestehenden chronischen Lungenerkrankungen (COPD, Asthma) besteht eine höhere Anfälligkeit für eine Inflamationsreaktion unter erhöhter Wärmeexposition, da im Rahmen von Hitzewellen erhöhte

Konzentrationen von CO<sub>2</sub>, Treibhausgasen, Ozon, Stickstoffdioxid sowie Feinstaub vorliegen. Darüber hinaus ruft eine extreme Trockenheit eine Hyperreaktivität der Atemwege hervor [195]. Epidemiologische Untersuchungen zeigen, dass während Hitzewellen eine exzessive Zunahme von Notaufnahmen-Besuchen und stationären Aufnahmen durch respiratorische Erkrankungen zu beobachten ist (z. B. [196]).

Auch für kardiovaskuläre Erkrankungen im Kontext des Klimawandels zeigt sich, dass Hitzewellen mit einem vermehrten Auftreten von kardialen Ereignissen (Herzinfarkt, kardiale Dekompensation) assoziiert sind, sodass auch hieraus eine erhöhte intensivmedizinische Behandlungsnotwendigkeit resultieren dürfte [197]. Störungen im renalen System scheinen eine ganz besondere Rolle während Hitzewellen zu spielen. Insbesondere bei älteren Menschen mit hoher Komorbidität ist ein erhöhtes Risiko für Störungen der Nierenfunktion bis hin zur Niereninsuffizienz auf dem Boden von Dehydratation und Volumenverlust beschrieben. In diesem Zusammenhang wurde darüber hinaus gezeigt, dass eine andauernde und nicht kompensierte Hitzeexposition auch in der Niere eine Inflamationsreaktion auslöst, die – in Analogie zum kardiovaskulären System – eine schädigende Kaskade in Gang setzt (z. B. Rhabdomyolyse, erhöhte Vasopressin-Expression). Für diesen Symptomkomplex wurde der Begriff der sog. „heat stress nephropathy“ geprägt [198]. In Regionen mit ausgeprägter und lang andauernder Hitzeexposition (z. B. Kalifornien, Südeuropa) wurde eine signifikante Zunahme der Nierenersatztherapiepflichtigkeit im Vergleich zu Regionen mit „normalen“ Temperaturen beobachtet [199].

Die erhebliche, klimawandelassoziierte Zunahme respiratorischer, kardialer und renal Erkrankungen mit hoher Morbiditäts- und Letalitätslast erfordert umfassende pathophysiologische Kenntnisse und ausreichende Personalressourcen für eine gezielte Behandlung.

Ebenso stellen ungewöhnliche Infektionserkrankungen, die bisher in Zentral-

## Special Articles

## Guidelines and Recommendations

europa als „Exoten“ galten und nur bei Menschen nach Auslandsaufenthalt zu beobachten waren, ein zunehmendes Behandlungspotential für die Intensivmedizin dar. Sowohl virale (z. B. Hanta-, West-Nil-, Zika-, Dengue-Virus) als auch bakterielle (z. B. *Vibrio vulnificus*, *Borrelia burgdorferi*) sowie fungale Infektionen (z. B. Aspergillen) werden insbesondere während Hitzeperioden – zunächst noch vereinzelt, aber mit steigender Zahl – auch in Zentraleuropa identifiziert [200]. Auch das Risiko von Plasmodieninfektionen (Malaria) soll im Falle einer weiteren Erderwärmung um ca. 5 % ansteigen [201].

Die sich durch zunehmende Erwärmung auch in Zentraleuropa ausbreitenden „ungewöhnlichen“ bakteriellen, fungalen und viralen übertragbaren Erkrankungen bedürfen spezieller Kenntnisse bzgl. des raschen differentialdiagnostischen Vorgehens und der gezielten Behandlung. Hierfür müssen u. a. ausreichende Isolationsmöglichkeiten sowie eine bedarfsgerechte infektiologische Expertise zur Verfügung stehen. Ähnlich verhält es sich mit neu auftretenden, zoonotischen Infektionskrankheiten. Das Risiko für solche Infektionskrankheiten mit potentiell pandemischen Ausmaßen ist infolge von stärkeren Wildtierkontakten, die aus einer zunehmenden Landnutzung und dem zugehörigen Flächenverbrauch durch den Menschen resultieren, stark erhöht [202,203]. Auch hierauf muss ein umweltresilientes Gesundheitssystem adäquat vorbereitet sein [185].

In der EuroHEAT-Studie [204] wurde in neun europäischen Metropolen der Zusammenhang zwischen Hitzewellen und Tagessterblichkeit untersucht. Es zeigte sich ein signifikanter Anstieg der generellen, täglich erfassten Mortalität um bis zu 40 % (vor allem in den mediterranen Metropolen) im Rahmen von ausgeprägten mehrtägigen Temperaturerhöhungen. Hierbei gingen ca. 50 % der Todesfälle auf kardiale Ereignisse zurück.

Die akute Hitzeerkrankung umfasst unterschiedliche Manifestationen bzw. Schweregrade (Hitzekrampf, Hitzeödem, Hitzeerschöpfung, Hitzschlag) und stellt eine zunehmende Herausforderung für

die Notfall- und Intensivmedizin dar, zumal sie einer sofortigen, fachgerechten Behandlung bedarf und keinen Aufschub duldet [205]. Besonders die schwerste Form der Hitzeexposition, der sog. Hitzschlag, ist eine absolut lebensbedrohliche Erkrankung. Analysen aus Frankreich, die sich mit den Effekten des extrem heißen Sommers im Jahr 2003 befassten, konnten einen massiven Anstieg der Aufnahmen von Patienten mit Hitzschlag auf den Intensivstationen belegen. Die Krankenhaussterblichkeit dieser Patienten betrug um die 60 % [206], sodass der fachgerechten Behandlung (Kühlung, spezielles supportives Intensivmanagement) eine enorme Bedeutung zukommt. Die Autoren der vorgenannten Arbeit räumen sogar ein, dass sie für solche Patienten nicht ausreichend vorbereitet waren, da nicht alle Intensivstationen über Klimaanlage oder Kühlmatten bzw. Kühlbäder verfügten.

Bei Überschwemmungen oder Stromausfall können die Versorgungskapazitäten des Gesundheitssystems selbst in Gefahr geraten. So führte der Hurrikan Sandy, der im Jahr 2012 über New York hinwegzog, im Tisch Hospital (eine der New-York-University-Kliniken) zu einem Gesamtstromausfall mit konsekutiver Evakuierungsnotwendigkeit aller Patienten. Parallel dazu mussten viele Menschen mit Unterkühlung, psychischem Schock oder Verschlechterung chronischer Krankheiten auf eine Behandlung warten. Ein ähnliches Schicksal traf das St. Antonius Krankenhaus in Eschweiler während der massiven Überflutung der Ahrtal-Region im Jahre 2021. Nicht zuletzt aufgrund der vorgenannten Beispiele müssen sich auch die Einrichtungen des Gesundheitssystems auf derartige Szenarien einstellen und über einen realistischen Krisenplan verfügen.

Klimawandel und Biodiversitätsverlust verstärken sich gegenseitig. Zudem werden die Auswirkungen des Klimawandels durch den Verlust an Artenreichtum stärker spürbar, denn die Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen wird geschwächt. Hitze ist in dichten Wäldern besser zu ertragen, Grün- und Blauflä-

chen kühlen Städte, Bewuchs schützt vor Erosion und Überschwemmung bei Starkregen. Die natürlichen Prozesse zur Reinigung der Luft nehmen ab [185,207]. Gleichzeitig ist eine diverse Natur die Grundlage der modernen Medizin. Der Großteil der in Deutschland verschriebenen Medikamente hat natürliche Ursprünge in Pflanzen, Tieren oder Mikroben. Das gilt beispielsweise für Opiate, Aspirin, ACE-Inhibitoren, Penicilline, Marcumar, genau wie für nicht depolarisierende Muskelrelaxanzien wie Curare. Die Forschung in Medizin und Pharmazie beruht in vielen Aspekten auf der Erforschung anderer Arten, wobei ein großer Teil der natürlichen Arten noch gar nicht entdeckt wurde [208]. Direkt spürbar wird der Biodiversitätsverlust zudem durch eine Verschiebung von Infektionsrisiken. Durch die Entwaldung kommt es beispielsweise zu einer Reduktion der Mückendiversität und in Folge nehmen diejenigen Mückenarten Überhand, die Malaria besonders effektiv übertragen [208].

Diese Tendenzen können durch die globale Verschmutzung noch weiter verstärkt werden. Die Verschmutzung ist der derzeit größte umweltbedingte Risikofaktor für vorzeitige Todesfälle – allerdings bei deutlich besserer Quantifizierbarkeit als bei den anderen Umweltveränderungen [209]. Als Anästhesistinnen und Anästhesisten und Intensivmedizinerinnen und Intensivmediziner werden wir vor allem mit Auswirkungen der Luftverschmutzung und den entsprechenden respiratorischen Folgeerkrankungen konfrontiert. Die Folgen chemischer Verschmutzung und Wasserverschmutzung sind im anästhesiologischen Alltag meist weniger greifbar, sollten aber bei der Entsorgung von Medikamenten und Medizinprodukten dringend mitberücksichtigt werden.

Aus den vorgenannten Gründen sollten ein entsprechendes Curriculum im Rahmen der intensivmedizinischen Ausbildung implementiert sowie die Thematik der mit dem Klimawandel und weiteren globalen Umweltveränderungen assoziierten Erkrankungen regelmäßig in intensivmedizinische Fortbildungen integ-

riert werden. Zudem ist zu fordern, dass die an der Intensivmedizin beteiligten Fachgesellschaften entsprechende Arbeitskreise und Foren einrichten.

Die Entwicklung spezifischer struktureller Konzepte ist zu fordern, um auf den kontinuierlich wachsenden Bedarf von Intensivkapazitäten sowohl aufgrund des generellen Temperaturanstiegs als auch im Falle einer akuten Massenbeanspruchung im Rahmen von Naturkatastrophen oder Pandemien reagieren zu können.

Ein umweltresilientes Gesundheitssystem ist notwendig [185], damit die Intensiv- und Notfallmedizin für die anstehenden Herausforderungen bestmöglich gewappnet ist und auch im Falle gleichzeitig auftretender Krisen stets funktionstüchtig bleibt. Konkret sind folgende Lösungsansätze für die intensivmedizinischen Herausforderungen im Kontext von Erderwärmung, Klimawandel und weiteren globalen Umweltveränderungen zu erörtern [183, 184,210]:

- Erhöhung der Kapazität von Intensivbetten, v. a. in Küstenregionen und Großstädten für die Patientenversorgung im Zusammenhang mit Hitzewellen oder Luftverschmutzung
- Bereitstellung einer ausreichenden Anzahl von Nierenersatzverfahren zur Behandlung von Patientinnen und Patienten mit akuter Nierenschädigung während Hitzewellen
- Aufbau einer „Reserve“ von Intensivbetten und Personal, die im Bedarfsfall akut aktiviert werden kann, insb. bei Massenanfall kritisch kranker Patienten im Zusammenhang mit rapiden Wetterumschlägen, Überschwemmungen, Waldbränden oder anderen Naturkatastrophen
- Bereitstellung von Isolationsmöglichkeiten und Erweiterung der Kenntnisse des Intensivpersonals bzgl. des Managements „ungewöhnlicher“ Infektionen
- Sicherstellung eines adäquaten Vorsorge- bzw. Versorgungsmanagements von Kliniken im Falle relevanter Einschränkungen im

den Bereichen Energieversorgung, Logistik und Lieferketten bei Naturkatastrophen.

### Literatur

1. Schuster M, Richter H, Pecher S, Koch S, Coburn M: Positionspapier mit konkreten Handlungsempfehlungen\* der DGA und des BDA: Ökologische Nachhaltigkeit in der Anästhesiologie und Intensivmedizin. *Anästh Intensivmed* 2020;61:329–339
2. Trent L, Law J, Grimaldi D: Create intensive care green teams, there is no time to waste. *Intensive Care Med* 2023;49:440–443
3. Richardson K, Steffen W, Lucht W, Bendtsen J, Cornell SE, Donges JF, et al: Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Sci Adv* 2023;9:eadh2458
4. Romanello M, Napoli CD, Green C, Kennard H, Lampard P, Scamman D, et al: The 2023 report of the Lancet Countdown on health and climate change: the imperative for a health-centred response in a world facing irreversible harms. *Lancet* 2023;402: 2346–2394
5. Kemp L, Xu C, Depledge J, Ebi KL, Gibbins G, Kohler TA, et al: Climate Endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2022;119:e2108146119
6. Gilmore AB, Fabbri A, Baum F, Bertscher A, Bondy K, Chang HJ, et al: Defining and conceptualising the commercial determinants of health. *Lancet* 2023;401:1194–1213
7. World Economic Forum: Nature Risk Rising: Why the Crisis Engulfing Nature Matters for Business and the Economy. Köln, Genf: World Economic Forum in Zusammenarbeit mit PwC 2020. [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_New\\_Nature\\_Economy\\_Report\\_2020.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_New_Nature_Economy_Report_2020.pdf) (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
8. Van de Pas R: Warum die Transformation zu einem wachstumsunabhängigen Gesundheits- und Wirtschaftssystem nötig ist. T-01-2023. Berlin: Centre for Planetary Health Policy 2023. <https://cphp-berlin.de/warum-die-transformation-zu-einem-wachstumsunabhaengigen-gesundheits-und-wirtschafts-system-noetig-ist/> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
9. IPCC: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Genf 2023. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
10. Global Climate & Health Alliance: International Health Organizations Call for Fossil Fuel Non-Proliferation Treaty to Protect Lives of Current and Future Generations. <https://fossilfueltreaty.org/health-letter> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
11. Romanello M, Di Napoli C, Drummond P, Green C, Kennard H, Lampard P, et al: The 2022 report of the Lancet Countdown on health and climate change: health at the mercy of fossil fuels. *Lancet* 2022;400:1619–1654
12. Romanello M, McGushin A, Di Napoli C, Drummond P, Hughes N, Jamart L, et al: The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future. *Lancet* 2021;398:1619–1662
13. 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;394:1836–1878
14. WMA: WMA Resolution on Climate Emergency. World Medical Association 2019. <https://www.wma.net/policies-post/wma-resolution-on-climate-emergency/> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
15. ASA: Environmental Sustainability: American Society of Anesthesiologists. 2023. <https://www.asahq.org/about-asa/governance-and-committees/asa-committees/environmental-sustainability/greening-the-operating-room> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
16. Royal College of Anaesthetists: Environment and sustainability. <https://www.rcoa.ac.uk/about-college/strategy-vision/environment-sustainability> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
17. McGain F, Ma SC, Burrell RH, Percival VG, Roessler P, Watterall AD, et al: Why be sustainable? The Australian and New Zealand College of Anaesthetists Professional Document PS64: Statement on Environmental Sustainability in Anaesthesia and Pain Medicine Practice and its accompanying background paper. *Anaesth Intensive Care* 2019; 47:413–422
18. ESA: The Glasgow declaration on sustainability in Anaesthesiology and Intensive Care. <https://esaic.org/sustainability/>



## Guidelines and Recommendations

## Special Articles

- the-glasgow-declaration-on-sustainability-in-anaesthesiology-and-intensive-care/ (Zugriffsdatum: 15.08.2024x)
19. Watts N, Amann M, Arnell N, Ayeb-Karlsson S, Beagley J, Belesova K, et al: The 2020 report of The Lancet Countdown on health and climate change: responding to converging crises. *Lancet* 2021;397:129–170
  20. Abbasi K, Godlee F: Investing in humanity: The BMJ's divestment campaign. *BMJ* 2020;368:m167
  21. Kagoma Y, Stall N, Rubinstein E, Naudie D: People, planet and profits: the case for greening operating rooms. *CMAJ*. 2012;184:1905–1911
  22. Vollmer MK, Rhee TS, Rigby M, Hofstetter D, Hill M, Scheonenberger F, et al: Modern inhalation anesthetics: potent greenhouse gases in the global atmosphere. *Geophys Res Lett* 2015;42:1606–1611
  23. NHS Sustainable Development Unit: Carbon Footprint from Anaesthetic gas use. National Health Service (NHS) 2013
  24. Department for Environment, Food and Rural Affairs: 2011 Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting: Methodology Paper for Emission Factors. Crown Copyright 2011. [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/69314/pb13625-emission-factor-methodology-paper-110905.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69314/pb13625-emission-factor-methodology-paper-110905.pdf) (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
  25. IPCC: Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Cambridge, New York: Intergovernmental Panel on Climate Change 2013
  26. Axelrod D, Bell C, Feldman J, Hopf H, Huncke TK, Paulsen W, et al: Greening the Operating Room. Greening the Operating Room and Perioperative Arena: Environmental Sustainability for Anesthesia Practice. American Society of Anesthesiologists (ASA) 2015
  27. Charlesworth M, Swinton F: Anaesthetic gases, climate change, and sustainable practice. *Lancet Planet Health* 2017;1:e216–e217
  28. 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;114:1081–1085
  29. Oyaro N, Sellevag SR, Nielsen CJ: Atmospheric chemistry of hydrofluoroethers: Reaction of a series of hydrofluoroethers with OH radicals and Cl atoms, atmospheric lifetimes, and global warming potentials. *J Phys Chem A* 2005;109:337–346
  30. Ozelsel TJ, 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;66:1291–1295
  31. Sulbaek Andersen MP, Sander SP, Nielsen OJ, Wagner DS, Sanford TJ Jr., Wallington TJ: Inhalation anaesthetics and climate change. *Br J Anaesth* 2010;105:760–766
  32. Ryan SM, Nielsen CJ: Global warming potential of inhaled anesthetics: application to clinical use. *Anesth Analg* 2010;111:92–98
  33. Nielsen OJ, Sulbaek Andersen MP: Inhalational volatile anaesthetic agents: the atmospheric scientists' viewpoint. *Anaesthesia* 2024;79:246–251
  34. IPCC: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Cambridge, New York: Cambridge University Press 2021
  35. Sulbaek Andersen MP, Nielsen OJ, Sherman JD: Assessing the potential climate impact of anaesthetic gases. *Lancet Planet Health* 2023;7:e622–e629
  36. Smith C, Nicholls ZRJ, Armour K, Collins W, Forster P, Meinshausen M, et al: The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks and Climate Sensitivity Supplementary Material. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, Péan C, Berger S, et al (Hrsg): Climate Change 2021: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Cambridge, New York: Cambridge University Press 2021
  37. Slingo JM, Slingo ME: The science of climate change and the effect of anaesthetic gas emissions. *Anaesthesia* 2024;79:252–260
  38. Sherman J, Feldman J, Berry JM: Reducing Inhaled Anesthetic Waste and Pollution Anesthesiology News 2017:12–14
  39. Sherman J, McGain F: Environmental Sustainability in Anesthesia. Pollution Prevention and Patient Safety. *Advances in Anesthesia*. 2016;34:47–61
  40. Feldman JM: Managing fresh gas flow to reduce environmental contamination. *Anesth Analg* 2012;114:1093–1101
  41. Zuegge KL, Bunsen SK, Volz LM, Stromich AK, Ward RC, King AR, et al: Provider Education and Vaporizer Labeling Lead to Reduced Anesthetic Agent Purchasing With Cost Savings and Reduced Greenhouse Gas Emissions. *Anesth Analg*. 2019;128:e97–e99
  42. Dölker T, Schuler J, Wallqvist J, Rossaint R, Kowark A, Ziemann S, et al: Easy-to-implement educational interventions to bring climate-smart actions to daily anesthesiologic practice: a cross-sectional before and after study. *Minerva Anesthesiol* 2024;90:126–134
  43. Forum Nachhaltigkeit in der Anästhesiologie: Aufkleber zu MinimalFlow für Sevo-Vaporen. <https://forum-nachhaltigkeit.bda-dgai.de/>; [https://www.typographus.de/shop/sonstiges\\_135/aufkleber-frischgas-fluss-70x60-mm-bogen-10-stueck\\_488.html](https://www.typographus.de/shop/sonstiges_135/aufkleber-frischgas-fluss-70x60-mm-bogen-10-stueck_488.html) (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
  44. Tennison I, Roschnik S, Ashby B, Boyd R, Hamilton I, Oreszczyk T, et al: Health care's response to climate change: a carbon footprint assessment of the NHS in England. *Lancet Planet Health*. 2021;5:e84–e92
  45. 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:e381–e388
  46. Richter H, Weixler S, Schuster M: Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Anästhesie. Wie die Wahl volatiler Anästhetika die CO<sub>2</sub>-Emissionen einer anästhesiologischen Klinik beeinflusst. *Anästhesiologie & Intensivmedizin* 2020;61:154–161
  47. Hansen EE, Chiem JL, Righter-Foss K, Zha Y, Cockrell HC, Greenberg SLM, et al: Project SPRUCE: Saving Our Planet by Reducing Carbon Emissions, a Pediatric Anesthesia Sustainability Quality Improvement Initiative. *Anesth Analg* 2023;137:98–107
  48. Hu EP, Yap A, Davies JF, Goyagi T, McGain F: Global practices in desflurane use. *Br J Anaesth* 2023; DOI: 10.1016/j.bja.2023.08.018
  49. Keady T, Nordrum OL, Duffy O, Cummins T, Wall V, O'Croinin D, et al: Annual greenhouse gas emissions from inhaled anaesthetic agents in the Republic of Ireland. *Br J Anaesth* 2023;130:e13–e16
  50. Buhre W, De Robertis E, Gonzalez-Pizarro P: The Glasgow declaration on sustainability in Anaesthesiology and Intensive Care. *Eur J Anaesthesiol* 2023;40:461–464

## Special Articles

## Guidelines and Recommendations

51. EU: Verordnung (EU) 2024/573 des europäischen Parlaments und des Rates vom 7. Februar 2024 über fluoriierte Treibhausgase, zur Änderung der Richtlinie (EU) 2019/1937 und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 517/2014. Amtsblatt der europäischen Union 2024. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32024R0573> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
52. Hendrickx JFA, Nielsen OJ, De Hert S, De Wolf AM: The science behind banning desflurane: A narrative review. *Eur J Anaesthesiol* 2022;39:818–824
53. Gonzalez-Pizarro P, Muret J, Brazzi L: The green anaesthesia dilemma: to which extent is it important to preserve as many drugs available as possible. *Curr Opin Anaesthesiol* 2023;36:196–201
54. Barwise JA, Lancaster LJ, Michaels D, Pope JE, Berry JM: Technical communication: An initial evaluation of a novel anesthetic scavenging interface. *Anesth Analg* 2011;113:1064–1067
55. Ek M, Tjus K: Destruction of Medical N<sub>2</sub>O in Sweden. *Greenhouse Gases – Capturing, Utilization and Reduction*. London: InTech; 2012
56. 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* 2020;131:288–297
57. Liu Y, Lee-Archer P, Sheridan NM, Seglenieks R, McGain F, Eley VA: Nitrous Oxide Use in Australian Health Care: Strategies to Reduce the Climate Impact. *Anesth Analg* 2023;137:819–829
58. Kochendorfer IM, Kienbaum P, Grossart W, Rossaint R, Snyder-Ramos S, Grusser L: Environmentally friendly absorption of anesthetic gases : First experiences with a commercial anesthetic gas capture system. *Anaesthesiologie* 2022;71:824–833
59. Hinterberg J, Belfart T, Gabriel A, Holzschneider M, Tartler TM, Schaefer MS, et al: Efficiency of inhaled anaesthetic recapture in clinical practice. *Br J Anaesth* 2022;129:e79–e81
60. Gandhi J, Baxter I: Efficiency of inhaled anaesthetic recapture in clinical practice. Comment on Br J Anaesth 2022; 129: e79–81. *Br J Anaesth* 2023;130:e464–e465
61. Mulier H, Struys M, Vereecke H, Rex S, Teunkens A, Kalmar AF: Efficiency of CONTRAfluranTM in reducing sevoflurane pollution from maintenance anaesthesia in minimal flow end-tidal control mode for laparoscopic surgery. *Anaesthesia* 2024; 79(8):849–855. DOI: 10.1111/anae.16289
62. Kalmar AF, Verdonck P, Saxena S, Mulier J: Proper use of CONTRAfluranTM for optimal desorption and reuse of volatile anaesthetics. Comment on Br J Anaesth 2022; 129: e79–81. *Br J Anaesth* 2023;131:e71–e72
63. Schuster M, Coburn M: On the path to capturing and recycling of volatile anaesthetics. *Anaesthesiologie* 2022;71:821–823
64. Gandhi J, Barker K, Cross S, Goddard A, Vaghela M, Cooper A: Volatile capture technology in sustainable anaesthetic practice: a narrative review. *Anaesthesia* 2024;79:261–269
65. Schuster M, Kuster L, Arends S, Brenner T: Erratum: What is new ... in the energy consumption of the waste anesthetic gas disposal system. *Anaesthesiologie* 2023;72:831–832
66. Lehmann F, Schulz CM, Leicht D, Brady S, Fuhrmann A, Prutting J, et al: Persistent use of nitrous oxide for anaesthesia in European hospitals despite its harmfulness to the climate – how emission taxation can achieve the coupling of cost-effectiveness and climate protection: observational study. *BMC Health Serv Res* 2023;23:1392
67. Sherman J, Le C, Lamers V, Eckelman M: Life cycle greenhouse gas emissions of anesthetic drugs. *Anesth Analg* 2012;114(5):1086–1090.
68. Sherman JD, Barrick B: Total Intravenous Anesthetic Versus Inhaled Anesthetic: Pick Your Poison. *Anesth Analg* 2019;128:13–15
69. White SM, Shelton CL: Abandoning inhalational anaesthesia. *Anaesthesia* 2019; DOI: 10.1111/anae.14853
70. McGain F, Sheridan N, Wickramarachchi K, Yates S, Chan B, McAlister S: Carbon Footprint of General, Regional, and Combined Anaesthesia for Total Knee Replacements. *Anesthesiology* 2021;135:976–991
71. Mankes RF: Propofol wastage in anaesthesia. *Anesth Analg* 2012;114:1091–1092
72. Gillerman RG, Browning RA: Drug use inefficiency: a hidden source of wasted health care dollars. *Anesth Analg* 2000;91:921–924
73. Atcheson CL, Spivack J, Williams R, Bryson EO: Preventable drug waste among anesthesia providers: opportunities for efficiency. *J Clin Anesth* 2016;30:24–32
74. Janusinfo: Classification. Drug Therapeutic Committee and Health and Medical Care Administration of the Stockholm County Council 2019. <https://www.janusinfo.se/beslutsstod/lakemedelochmiljo/pharmaceuticalsandenvironment/environment/classification.5.7b57ecc216251fae47488423.html> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
75. Mullo J, 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;62:2912–2919
76. Waspe J, Orr T: Environmental risk assessment of propofol in wastewater: a narrative review of regulatory guidelines. *Anaesthesia* 2023;78:337–342
77. Janusinfo: Propofol. Drug Therapeutic Committee and Health and Medical Care Administration of the Stockholm County Council 2024. <https://www.janusinfo.se/beslutsstod/lakemedelochmiljo/pharmaceuticalsandenvironment/databaseenven/propofol.5.30a7505616a041a09b063eac.html> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
78. White S, Fang L, Shelton C: Propofol waste and the aggregation of marginal gains in green anaesthesia. *Anaesthesia* 2023;78:282–287
79. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Vollzugshilfe zur Entsorgung von Abfällen aus Einrichtungen des Gesundheitsdienstes 2021
80. Kampman JM, Sperna Weiland NH: Anaesthesia and environment: impact of a green anaesthesia on economics. *Curr Opin Anaesthesiol* 2023;36:188–195
81. Reynier T, Berahou M, Albaladejo P, Beloeil H: Moving towards green anaesthesia: Are patient safety and environmentally friendly practices compatible? A focus on single-use devices. *Anaesth Crit Care Pain Med* 2021;40:100907
82. Rizan C, Lillywhite R, Reed M, Bhutta MF: The carbon footprint of products used in five common surgical operations: identifying contributing products and processes. *J R Soc Med* 2023;116:199–213
83. Vozzola E, Overcash M, Griffing E: An Environmental Analysis of Reusable and Disposable Surgical Gowns. *AORN J* 2020;111:315–325

## Guidelines and Recommendations

## Special Articles

84. Cohen ES, Djufri S, Bons S, Knoppert MR, Hehenkamp WJK, Kouwenberg L, et al: Environmental Impact Assessment of Reusable and Disposable Surgical Head Covers. *JAMA Surg* 2023;158:1216–1217
85. Burguburu A, Tanné C, Bosc K, Laplaud J, Roth M, Czyrnek-Deletre M: Comparative life cycle assessment of reusable and disposable scrub suits used in hospital operating rooms. *Clean Environ Syst* 2022;4:100068
86. Overcash M: A comparison of reusable and disposable perioperative textiles: sustainability state-of-the-art 2012. *Anesth Analg* 2012;114:1055–1066
87. Jewell J, Wentsel R: Comparative Life Cycle Assessment of Reusable vs. Disposable Textiles. PE International Sustainability Performance, Exponent 2014. <https://www.trsa.org/wp-content/uploads/2014/08/trsa-reusable-disposable-study.pdf> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
88. Hunfeld N, Diehl JC, Timmermann M, van Exter P, Bouwens J, Browne-Wilkinson S, et al: Circular material flow in the intensive care unit-environmental effects and identification of hotspots. *Intensive Care Med* 2023;49:65–74
89. McGain F, McAlister S, McGavin A, Story D: The financial and environmental costs of reusable and single-use plastic anaesthetic drug trays. *Anaesth Intensive Care* 2010;38:538–544
90. Eckelman M, Mosher M, Gonzalez A, Sherman J: Comparative life cycle assessment of disposable and reusable laryngeal mask airways. *Anesth Analg* 2012;114:1067–1072
91. Sherman JD, Hopf HW: Balancing Infection Control and Environmental Protection as a Matter of Patient Safety: The Case of Laryngoscope Handles. *Anesth Analg*. 2018;127:576–579
92. 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;127:434–443
93. Hemberg L, Wessberg N, Leire C, Bentzer P: Environmental impact of single-use and reusable items in central venous catheter insertion kits: a life cycle assessment. *Intensive Care Med* 2023;49:662–664
94. Grimmond TR, Bright A, Cadman J, Dixon J, Ludditt S, Robinson C, et al: Before/after intervention study to determine impact on life-cycle carbon footprint of converting from single-use to reusable sharps containers in 40 UK NHS trusts. *BMJ Open* 2021;11:e046200
95. Duffy J, Slutzman JE, Thiel CL, Landes M: Sustainable Purchasing Practices: A Comparison of Single-use and Reusable Pulse Oximeters in the Emergency Department. *West J Emerg Med* 2023;24:1034–1042
96. Sanchez SA, Eckelman MJ, Sherman JD: Environmental and economic comparison of reusable and disposable blood pressure cuffs in multiple clinical settings. *Resources, Conservation & Recycling* 2020;155:104643
97. Bringier R, Arrigoni A, Muret J, Dro A, Gayat E, Vallée F, et al: An integrated environmental, economic, and clinician satisfaction comparison between single-use and reusable flexible bronchoscopes for tracheal intubation. *Br J Anaesth* 2023;131:e4–e7
98. Richter H, Schulz-Stubner S, Pecher S, Orlowski S, Coburn M, Schuster M: Prioritized utilisation and reprocessing of reusable equipment in anaesthesiology departments: Recommendations on how to reduce CO<sub>2</sub> emissions from anaesthetic equipment. *Anaesthesiologie* 2023;72:433–444
99. Rizan C, Lillywhite R, Reed M, Bhutta MF: Minimising carbon and financial costs of steam sterilisation and packaging of reusable surgical instruments. *Br J Surg* 2022;109:200–210
100. Friedericy HJ, van Egmond CW, Vogtländer JG, van der Eijk AC, Jansen FW: Reducing the Environmental Impact of Sterilization Packaging for Surgical Instruments in the Operating Room: A Comparative Life Cycle Assessment of Disposable versus Reusable Systems. *Sustainability* 2022;14(430)
101. Stiegler K, Hill J, Van den Berghe A, Babcock L: Reducing Solid Waste in Surgical Centers by Replacing Blue Wrap. Practice Greenhealth: University of Minnesota 2016. [https://practicegreenhealth.org/sites/default/files/upload-files/awards/resources/gor\\_rmw\\_reduction\\_clinical\\_plastic\\_recycling\\_mayo\\_clinic\\_rochester\\_2016.pdf](https://practicegreenhealth.org/sites/default/files/upload-files/awards/resources/gor_rmw_reduction_clinical_plastic_recycling_mayo_clinic_rochester_2016.pdf) (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
102. MPG: Eiserner Klimaschutz. Die Metallindustrie und Materialwissenschaft haben zahlreiche Möglichkeiten, metallische Werkstoffe klimafreundlicher zu machen. Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH 2019. <https://www.mpg.de/14112208/metallindustrie-nachhaltig-co2-neutral> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
103. Ärztblatt: Einweg in Kliniken: Tausende Tonnen Edelstahl landen im Müll. 2020. <https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/108566/Einweg-in-Kliniken-Tau> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
104. Bhutta MF: Fair trade for surgical instruments. *BMJ* 2006;333:297–299
105. Shelton CL, Abou-Samra M, Rothwell MP: Recycling glass and metal in the anaesthetic room. *Anaesthesia* 2012;67:195–196
106. Frischenschlager H, Karigl B, Lampert C, Pölz W, Schindler I, Tesar M, et al: Klimarelevanz ausgewählter Recycling-Prozesse in Österreich. Endbericht. Wien 2010. <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0303.pdf> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
107. Rizan C, Brophy T, Lillywhite R, Reed M, Bhutta MF: Life cycle assessment and life cycle cost of repairing surgical scissors. *Int J Life Cycle Assess* 2022;27:780–795
108. McGain F, Story D, Kayak E, Kashima Y, McAlister S: Workplace sustainability: the „cradle to grave“ view of what we do. *Anesth Analg* 2012;114:1134–1139
109. McGain F, McAlister S: Reusable versus single-use ICU equipment: what's the environmental footprint? *Intensive Care Med* 2023;49:1523–1525
110. NHS: Greener NHS. Suppliers: NHS England. <https://www.england.nhs.uk/greenernhs/get-involved/suppliers/> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
111. Wyssusek KH, Keys MT, van Zundert AAJ: Operating room greening initiatives - the old, the new, and the way forward: A narrative review. *Waste Manag Res* 2019;37:3–19
112. PVC Med Alliance: PVC vs. Other Polymers in Medical Devices: Facts and Figures. <https://pvcmed.org/healthcare/facts-figures/> (Zugriffsdatum: 10.02.2024)
113. European Chemicals Agency: Investigation report – PVC and PVC Additives. European Chemicals Agency (ECHA) 2023, Helsinki. [https://echa.europa.eu/documents/10162/17233/rest\\_pvc\\_investigation\\_report\\_en.pdf/98134bd2-f26e-fa4f-8ae1-004d2a3a29b6?t=1701157368019](https://echa.europa.eu/documents/10162/17233/rest_pvc_investigation_report_en.pdf/98134bd2-f26e-fa4f-8ae1-004d2a3a29b6?t=1701157368019) (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
114. Rossi M, Blake A: Plastics Scorecard. Evaluating the Chemical Footprint



## Special Articles

## Guidelines and Recommendations

- of Plastics. Clean Production Action 2014. [https://www.bizngo.org/images/ee\\_images/uploads/plastics/plastics\\_scorecard\\_2015\\_2\\_25e.pdf](https://www.bizngo.org/images/ee_images/uploads/plastics/plastics_scorecard_2015_2_25e.pdf) (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
115. Health Care Without Harm (HCWH): Alternatives to Hazardous Chemicals in Medical Devices: Phthalates and Bisphenol A. Second Edition 2019. Health Care Without Harm (HCWH) 2019. [https://noharm-europe.org/sites/default/files/documents-files/6154/2019-12-03\\_HCWH\\_Non\\_Toxic\\_Healthcare\\_2\\_WEB.pdf](https://noharm-europe.org/sites/default/files/documents-files/6154/2019-12-03_HCWH_Non_Toxic_Healthcare_2_WEB.pdf) (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
  116. Singh S, Li SS: Phthalates: toxicogenomics and inferred human diseases. *Genomics* 2011;97:148–157
  117. Mariana M, Cairao E: The Relationship between Phthalates and Diabetes: A Review. *Metabolites* 2023;13
  118. Mariana M, Feiteiro J, Verde I, Cairao E: The effects of phthalates in the cardiovascular and reproductive systems: A review. *Environ Int* 2016;94:758–776
  119. Katsikantami I, Sifakis S, Tzatzarakis MN, Vakonaki E, Kalantzi OL, Tsatsakis AM, et al: A global assessment of phthalates burden and related links to health effects. *Environ Int* 2016;97:212–236
  120. Wang W, Kannan K: Leaching of Phthalates from Medical Supplies and Their Implications for Exposure. *Environ Sci Technol* 2023;57:7675–7683
  121. Bernard L, Masse M, Boeuf B, Chennell P, Decaudin B, Durand N, et al: Medical devices used in NICU: The main source of plasticisers' exposure of newborns. *Sci Total Environ* 2023;858:159994
  122. Panneel L, Cleys P, Breugelmans C, Christia C, Malarvannan G, Poma G, et al: Neonatal exposure to phthalate and alternative plasticizers via parenteral nutrition. *Int J Pharm* 2023;631:122472
  123. Panneel L, Malarvannan G, Jorens PG, Covaci A, Mulder A: Plasticizers in the neonatal intensive care unit: A review on exposure sources and health hazards. *Crit Rev Environ Sci Technol* 2022;52:3947–3972
  124. Health Care Without Harm (HCWH): Towards PVC-Free Healthcare. Reducing the environmental impact and exposure to harmful chemicals. Health Care Without Harm (HCWH) 2023. [https://noharm-europe.org/sites/default/files/documents-files/7382/2023-05-Towards-PVC-free-healthcare\\_0.pdf](https://noharm-europe.org/sites/default/files/documents-files/7382/2023-05-Towards-PVC-free-healthcare_0.pdf) (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
  125. McGain F, Clark M, Williams T, Wardlaw T: Recycling plastics from the operating suite. *Anaesth Intensive Care* 2008;36:913–914
  126. McGain E, Hendel SA, Story DA: An audit of potentially recyclable waste from anaesthetic practice. *Anaesth Intensive Care* 2009;37(5):820–823
  127. Anstey MH, Trent L, Bhonagiri D, Hammond NE, Knowles S, McGain F, et al: How much do we throw away in the intensive care unit? An observational point prevalence study of Australian and New Zealand ICUs. *Crit Care Resusc* 2023;25:78–83
  128. Hutchins DC, White SM: Coming round to recycling. *BMJ* 2009;338:b609
  129. Hartmann D, Jung M, Neubert TR, Susin C, Nonnenmacher C, Mutters R: Microbiological risk of anaesthetic breathing circuits after extended use. *Acta Anaesthesiol Scand* 2008;52:432–436
  130. McGain F, Algie CM, O'Toole J, Lim TF, Mohebbi M, Story DA, et al: The microbiological and sustainability effects of washing anaesthesia breathing circuits less frequently. *Anaesthesia* 2014;69:337–342
  131. Dubler S, Zimmermann S, Fischer M, Schnitzler P, Bruckner T, Weigand MA, et al: Bacterial and viral contamination of breathing circuits after extended use – an aspect of patient safety? *Acta Anaesthesiol Scand* 2016;60:1251–1260
  132. Hübner NO, Daeschlein G, Lehmann C, Musatkin S, Kohlheim U, Gibb A, et al: Microbiological safety and cost-effectiveness of weekly breathing circuit changes in combination with heat moisture exchange filters: a prospective longitudinal clinical survey. *GMS Krankenhhyg Interdisziplin* 2011;6:Doc15
  133. Kranabetter R, Kramer A, Rathgeber J, Züchner K, Assadian O, Daeschlein G et al: Infektionsprävention bei Narkosebeatmung durch Einsatz von Atemsystemfiltern. Gemeinsame Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Krankenhaushygiene und der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin. *Anaesthesist* 2010;51:831–838
  134. Brooks L, Anderson C, Martin R, Lathey R, Ward E: Sustainable waste management in anaesthesia and critical care. *BJA Open* 2023;6:e7–e8
  135. Chasseigne V, Leguelinel-Blache G, Nguyen TL, de Tayrac R, Prudhomme M, Kinowski JM, et al: Assessing the costs of disposable and reusable supplies wasted during surgeries. *Int J Surg* 2018;53:18–23
  136. Roissant R, Coburn M, Zwissler B: Klug entscheiden: ... in der Anästhesiologie. *Dtsch Arztebl* 2017;114:1120–1122
  137. McAlister S, Barratt AL, Bell KJ, McGain F: The carbon footprint of pathology testing. *Med J Aust* 2020;212:377–382
  138. Spoyalo K, Lalande A, Rizan C, Park S, Simons J, Dawe P, et al: Patient, hospital and environmental costs of unnecessary bloodwork: capturing the triple bottom line of inappropriate care in general surgery patients. *BMJ Open Qual* 2023;12
  139. Rizan C, Reed M, Bhutta MF: Environmental impact of personal protective equipment distributed for use by health and social care services in England in the first six months of the COVID-19 pandemic. *J R Soc Med* 2021;114:250–263
  140. Barbanera M, Marconi M, Peruzzi A, Dinarelli S: Environmental assessment and eco-design of a surgical face mask. *Procedia CIRP* 2022;105:61–66
  141. Atilgan Türkmen B: Life cycle environmental impacts of disposable medical masks. *Environ Sci Pollut Res Int* 2022;29:25496–25506
  142. Cornelio A, Zanoletti A, Federici S, Ciacchi L, Depero LE, Bontempi E: Environmental Impact of Surgical Masks Consumption in Italy Due to COVID-19 Pandemic. *Materials (Basel)* 2022;15:2046
  143. Tabatabaei M, Hosseinzadeh-Bandbafha H, Yang Y, Aghbashlo M, Lam SS, Montgomery H, et al: Exergy intensity and environmental consequences of the medical face masks curtailing the COVID-19 pandemic: Malign bodyguard? *J Clean Prod* 2021;313:127880
  144. Schmutz M, Hischier R, Batt T, Wick P, Nowack B, Wäger P, et al: Cotton and Surgical Masks—What Ecological Factors Are Relevant for Their Sustainability? *Sustainability* 2020;12
  145. Ajaj R, Al Dweik R, Ali SAA, Stietiya MH: Life cycle assessment studies to evaluate the sustainability of various facemasks used during COVID-19: A UAE case study. *J Environ Chem Eng* 2023;11:110491
  146. Touw H, Stoberneck T, Hunfeld NGM, Pickkers P: Size does matter. Sustainable choice of intravenous bags. *Intensive Care Med* 2023;49:1529–1530

## Guidelines and Recommendations

## Special Articles

147. Thiel CL, Woods NC, Bilec MM: Strategies to Reduce Greenhouse Gas Emissions from Laparoscopic Surgery. *Am J Public Health* 2018;108:S158–S164
148. McGain F, White S, Mossenson S, Kayak E, Story D: A survey of anesthesiologists' views of operating room recycling. *Anesth Analg* 2012;114:1049–1054
149. McGain F, Story D, Hendel S: An audit of intensive care unit recyclable waste. *Anaesthesia* 2009;64(12):1299–1302
150. Barbariol F, Baid H: Introduction to an intensive care recycling program. *Intensive Care Med* 2023;49:327–329
151. Kubicki MA, McGain F, O'Shea CJ, Bates S: Auditing an intensive care unit recycling program. *Crit Care Resusc* 2015;17:13–140
152. Fraifeld A, Rice AN, Stamper MJ, Muckler VC: Intraoperative waste segregation initiative among anesthesia personnel to contain disposal costs. *Waste Manag* 2021;122:124–131
153. Hubbard RM, Hayanga JA, Quinlan JJ, Soltez AK, Hayanga HK: Optimizing Anesthesia-Related Waste Disposal in the Operating Room: A Brief Report. *Anesth Analg* 2017;125:1289–1291
154. Guetter CR, Williams BJ, Slama E, Arrington A, Henry MC, Moller MG, et al: Greening the operating room. *Am J Surg* 2018;216:683–688
155. Umweltbundesamt: Best Practice Municipal Waste Management. Datenblatt WWSM-08\_Med. Umweltbundesamt. URL [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/stoffstrom\\_medizin\\_med.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/stoffstrom_medizin_med.pdf) (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
156. Umweltbundesamt: Thermische Behandlung. Entsorgung von Krankenhausabfällen. Umweltbundesamt 2016. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/entsorgung/thermische-behandlung#entsorgung-von-krankenhausabfaellen> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
157. Rizan C, Bhutta. MF, Reed M, Lillywhite R: The carbon footprint of waste streams in a UK hospital. *Journal of Cleaner Production* 2020;286:125446
158. Kumar H, Azad A, Gupta A, Sharma J, Bherwani H, Labhsetwar NK, et al: COVID-19 Creating another problem? Sustainable solution for PPE disposal through LCA approach. *Environ Dev Sustain* 2021;23:9418–9432
159. abfallmanager-mezizin: Infektiöse Abfälle entsorgen. 2023. <https://www.abfallmanager-mezizin.de/abfall-abc/infektiuese-abfaelle-entsorgen/> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
160. Martin C, Minville V, Mayeur J, Conil JM, Vardon-Bouines F: Transforming waste management in intensive care units: a path towards environmental sustainability and resource optimization. *Intensive Care Med* 2023;49:1136–1137
161. Umweltbundesamt: Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr in Deutschland – Bezugsjahr 2022. Umweltbundesamt 2022. <https://www.umweltbundesamt.de/bild/vergleicher-durchschnittlichen-emissionen-0> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
162. Hergert M, Chlond B: Ökologische und ökonomische Potenziale von Mobilitätskonzepten in Klein- und Mittelzentren sowie dem ländlichen Raum vor dem Hintergrund des demographischen Wandels. Abschlussbericht. Umweltbundesamt 2019. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekologische-oekonomische-potenziale-von/> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
163. Schröder H, Beckers SK, Borgs C, Rossaint R, Felzen M: Update tele-emergency medicine: Status quo and perspectives. *Anaesthesiologie* 2023;72:506–517
164. Holmner A, Ebi KL, Lazuardi L, Nilsson M: Carbon footprint of telemedicine solutions – unexplored opportunity for reducing carbon emissions in the health sector. *PLoS One* 2014;9:e105040
165. Rodler S, Ramacciotti LS, Maas M, Mokhtar D, Hershenhouse J, De Castro Abreu AL, et al: The Impact of Telemedicine in Reducing the Carbon Footprint in Health Care: A Systematic Review and Cumulative Analysis of 68 Million Clinical Consultations. *Eur Urol Focus* 2023;9:873–887
166. Nathans J, Sterling P: How scientists can reduce their carbon footprint. *Elife* 2016;5:e15928
167. Gattrell WT, Barraux A, Comley S, Whaley M, Lander N: The Carbon Costs of In-Person Versus Virtual Medical Conferences for the Pharmaceutical Industry: Lessons from the Coronavirus Pandemic. *Pharmaceut Med* 2022;36:131–142
168. McGain F, Burnham JP, Lau R, Aye L, Kollef MH, McAlister S: The carbon footprint of treating patients with septic shock in the intensive care unit. *Crit Care Resusc* 2018;20:304–312
169. Pollard AS, Paddle JJ, Taylor TJ, Tillyard A: The carbon footprint of acute care: how energy intensive is critical care? *Public Health* 2014;128:771–776
170. Anselm F, Schick MA: The Energy-Saving Potential of Medical Devices-Anesthesia Machines as an Example. *Dtsch Arztebl Int* 2022;119:743–744
171. Drinhaus H, Schumacher C, Drinhaus J, Wetsch WA: W(h)at(t) counts in electricity consumption in the intensive care unit. *Intensive Care Med* 2023;49:437–439
172. Drinhaus H, Drinhaus J, Schumacher C, Schramm MJ, Wetsch WA: Electricity consumption of anesthesia workstations and potential emission savings by avoiding standby. *Anaesthesiologie* 2024; DOI: 10.1007/s00101-024-01388-3
173. Schuster M, Kuster L, Arends S, Brenner T: What is new ... in the energy consumption of the waste anesthetic gas disposal system: Sustainability in anesthesiology. *Anaesthesiologie* 2023;72:348–349
174. KGNW, EnergieAgentur.NRW: EN.Kompass Krankenhaus – Projektbericht 2015. Krankenhausgesellschaft Nordrhein-Westfalen e. V. 2015. <https://www.kgnw.de/download/2015-en-kompass-projektbericht.pdf> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
175. Love C: Operating Room HVAC Setback Strategies. American Society for Healthcare Engineering 2011. [https://www.ashae.org/management\\_monographs/mg2011love](https://www.ashae.org/management_monographs/mg2011love) (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
176. Torossian A, Becke K, Bein B, Bräuer A, Gantert D, Greif R, et al: S3-Leitlinie „Vermeidung von perioperativer Hypothermie“ – Aktualisierung 2019. AWMF online 2019. [https://register.awmf.org/assets/guidelines/001-018l\\_S3\\_Vermeidung\\_perioperativer\\_Hypothermie\\_2019-08.pdf](https://register.awmf.org/assets/guidelines/001-018l_S3_Vermeidung_perioperativer_Hypothermie_2019-08.pdf) (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
177. Kluge S: Raumlufttechnik im OP: Abschalten. Krankenhaustechnik 2013:14–18
178. Greening the OR Initiative, Practice Greenhealth <https://practicegreenhealth.org/topics/greening-operating-room/greening-or> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
179. Tuenge JR: LED Surgical Task Lighting. Scoping Study: A Hospital Energy Alliance Project. U.S. Department of

## Special Articles

## Guidelines and Recommendations

- Energy 2011. <https://pdfs.semanticscholar.org/eb4a/45510dfc949e907bdaad85185314744d5a0.pdf> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
180. Pichler PP, Jaccard IS, Weisz U, Weisz H: International comparison of health care carbon footprints. *Environmental Research Letters* 2019;14:064004
  181. EnergieAgentur.NRW: Effiziente Energienutzung in Krankenhäusern. Nützliche Informationen und Praxisbeispiele. Wuppertal: EnergieAgentur.NRW 2010. [https://broschuere.service.mhkgb.nrw/files/download/pdf/bek-krankenhaus-final-pdf\\_von\\_effiziente-energienutzung-in-krankenhaeusern-nuetzliche-informationen-und-praxisbeispiele\\_vom\\_energieagentur\\_1044.pdf](https://broschuere.service.mhkgb.nrw/files/download/pdf/bek-krankenhaus-final-pdf_von_effiziente-energienutzung-in-krankenhaeusern-nuetzliche-informationen-und-praxisbeispiele_vom_energieagentur_1044.pdf) (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
  182. Quaschnig V: Erneuerbare Energien und Klimaschutz. Hintergründe – Techniken und Planung – Ökonomie und Ökologie – Energiewende. München: Carl Hanser Verlag 2018
  183. Bein T, Karagiannidis C, Gründling M, Quintel M: New challenges for intensive care medicine due to climate change and global warming. *Anaesthesist* 2020;69:463–469
  184. Bein T, Karagiannidis C, Quintel M: Climate change, global warming, and intensive care. *Intensive Care Med* 2020;46:485–487
  185. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU): Gesund leben auf einer gesunden Erde. Berlin: WBGU 2023. <https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/gesundleben> (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
  186. Gonzalez-Pizarro P, Brazzi L, Koch S, Trinks A, Muret J, Serna Weiland N, et al: European Society of Anaesthesiology and Intensive Care consensus document on sustainability: 4 scopes to achieve a more sustainable practice. *Eur J Anaesthesiol* 2024;41:260–277
  187. White SM, Shelton CL, Gelb AW, Lawson C, McGain F, Muret J, et al: Principles of environmentally-sustainable anaesthesia: a global consensus statement from the World Federation of Societies of Anaesthesiologists. *Anaesthesia*. 2022;77(2):201–212.
  188. Carrandi A, Nguyen C, Tse WC, Taylor C, McGain F, Thompson K, et al: How environmental impact is considered in economic evaluations of critical care: a scoping review. *Intensive Care Med* 2024;50:36–45
  189. Murthy S, Bernat M, Perner A: Attributable climate emissions: an important public- and patient-centered outcome for intensive care trials. *Intensive Care Med* 2024;50(1):144–146
  190. Zotova O, Petrin-Desrosiers C, Gopfert A, Van Hove M: Carbon-neutral medical conferences should be the norm. *Lancet Planet Health*. 2020;4(2):e48–e50
  191. Costello A, Romanello M, Hartinger S, Gordon-Strachan G, Huq S, Gong P, et al: Climate change threatens our health and survival within decades. *Lancet* 2023;401:85–87
  192. WHO: Climate Change. Overview. World Health Organization 2024. [https://www.who.int/health-topics/climate-change#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/climate-change#tab=tab_1) (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
  193. Semenza JC, Paz S: Climate change and infectious disease in Europe: Impact, projection and adaptation. *Lancet Reg Health Eur*. 2021;9:100230
  194. Winklmayr C, Muthers S, Niemann H, Mücke HG, an der Heiden M: Heat-Related Mortality in Germany From 1992 to 2021. *Dtsch Arztebl Int* 2022;119:451–457
  195. Hayes D Jr, Collins PB, Khosravi M, Lin RL, Lee LY: Bronchoconstriction triggered by breathing hot humid air in patients with asthma: role of cholinergic reflex. *Am J Respir Crit Care Med* 2012;185:1190–1196
  196. Lin S, Luo M, Walker RJ, Liu X, Hwang SA, Chinery R: Extreme high temperatures and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases. *Epidemiology* 2009;20:738–746
  197. Bayram H, Bauer AK, Abdalati W, Carlsten C, Pinkerton KE, Thurston GD, et al: Environment, Global Climate Change, and Cardiopulmonary Health. *Am J Respir Crit Care Med* 2017;195:718–724
  198. Glaser J, Lemery J, Rajagopalan B, Diaz HF, Garcia-Trabanino R, Taduri G, et al: Climate Change and the Emergent Epidemic of CKD from Heat Stress in Rural Communities: The Case for Heat Stress Nephropathy. *Clin J Am Soc Nephrol* 2016;11:1472–1483
  199. Johnson RJ, Sanchez-Lozada LG, Newman LS, Lanasa MA, Diaz HF, Lemery J, et al: Climate Change and the Kidney. *Ann Nutr Metab* 2019;74 Suppl 3:38–44
  200. Bernstein AS, Rice MB: Lungs in a warming world: climate change and respiratory health. *Chest* 2013;143:1455–1459
  201. Shuman EK: Global climate change and infectious diseases. *Int J Occup Environ Med* 2011;2:11–19
  202. Daszak P, das Neves C, Amuasi J, Hayman D, Kuiken T, Roche B, et al: IPBES Workshop Report on Biodiversity and Pandemics of the Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn: IPBES secretariat 2020
  203. Judson SD, Rabinowitz PM: Zoonoses and global epidemics. *Curr Opin Infect Dis* 2021;34:385–392
  204. D'Ippoliti D, Michelozzi P, Marino C, de'Donato F, Menne B, Katsouyanni K, et al: The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. *Environ Health* 2010;9:37
  205. Bein T: Pathophysiologie und Management der Hitzeerkrankung. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 2024; 119:373–380
  206. Misset B, De Jonghe B, Bastuji-Garin S, Gattolliat O, Boughrara E, Annane D, et al: Mortality of patients with heatstroke admitted to intensive care units during the 2003 heat wave in France: a national multiple-center risk-factor study. *Crit Care Med* 2006;34:1087–1092
  207. Brondizio ES, Settele J, Díaz S, Ngo HT (Hrsg): IPBES Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn: IPBES secretariat 2019
  208. Chivian E, Bernstein A: How our health depends on biodiversity Boston, USA: Center of Health and the Global Environment. Harvard Medical School 2022. [https://www.bu.edu/sph/files/2012/12/Chivian\\_and\\_Bernstein\\_2010\\_How\\_our\\_Health\\_Depends\\_on\\_Biodiversity.pdf](https://www.bu.edu/sph/files/2012/12/Chivian_and_Bernstein_2010_How_our_Health_Depends_on_Biodiversity.pdf) (Zugriffsdatum: 15.08.2024)
  209. Fuller R, Landrigan PJ, Balakrishnan K, Bathan G, Bose-O'Reilly S, Brauer M, et al: Pollution and health: a progress update. *Lancet Planet Health*. 2022;6:e535–e547
  210. Salas RN, Malina D, Solomon CG: Prioritizing Health in a Changing Climate. *N Engl J Med* 2019;381:773–774.



**Korrespondenz-  
adresse****Prof. Dr. med.  
Martin Schuster**

Klinik für Anästhesiologie, Intensiv-  
medizin, Notfallmedizin und  
Schmerztherapie  
RKH-Kliniken Landkreis Karlsruhe  
- Fürst-Stirum-Klinik Bruchsal  
- Rechbergklinik Bretten  
Akademische Lehrkrankenhäuser der  
Universität Heidelberg  
Gutleutstraße 1 – 14  
76646 Bruchsal, Deutschland  
Tel.: 07251 708-57501  
E-Mail:  
martin.schuster@rkh-gesundheit.de  
ORCID-ID: 0000-0001-5946-4166

An der Erstellung des Beitrags „Positionspapier mit konkreten Handlungsempfehlungen der DGAI und des BDA: Ökologische Nachhaltigkeit in der Anästhesiologie und Intensivmedizin – Aktualisierung 2024“ haben maßgeblich mitgewirkt:

**Prof. Dr. Martin Schuster**

Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin,  
Notfallmedizin und Schmerztherapie, RKH-  
Kliniken Landkreis Karlsruhe, Fürst-Stirum-  
Klinik Bruchsal und Rechbergklinik Bretten,  
Deutschland

**Dr. Hannah Richter**

Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin,  
Notfallmedizin und Schmerztherapie, RKH-  
Kliniken Landkreis Karlsruhe, Fürst-Stirum-  
Klinik Bruchsal und Rechbergklinik Bretten,  
Deutschland

**Dr. Sabine Pecher**

Klinik für Anästhesie und Intensivmedizin,  
Diakonie Klinikum Stuttgart, Deutschland

**Prof. Dr. Thomas Bein**

Regensburg, Deutschland

**Dr. Linda Grüßer**

Klinik für Anästhesiologie, Universitäts-  
klinikum RWTH Aachen, Deutschland

**Priv.-Doz. Dr. Ana Kowark**

Klinik für Anästhesiologie und Operative  
Intensivmedizin, Universitätsklinikum Bonn,  
Deutschland

**Dr. Ferdinand Lehmann**

Klinik für Anästhesie, Intensivmedizin und  
Schmerztherapie, Vivantes Klinikum im  
Friedrichshain, Berlin, Deutschland

**Dr. Charlotte Samwer**

Klinik für Anästhesiologie mit Schwerpunkt  
Intensivmedizin, Campus Charité Mitte  
und Campus Virchow-Klinikum, Charité –  
Universitätsmedizin Berlin, Deutschland

**Prof. Dr. Thorsten Brenner**

Klinik für Anästhesiologie und  
Intensivmedizin, Universitätsklinikum Essen,  
Universität Duisburg-Essen, Deutschland

**Prof. Dr. Mark Coburn**

Klinik für Anästhesiologie und Operative  
Intensivmedizin, Universitätsklinikum Bonn,  
Deutschland