

## Patient blood management: key to a more sustainable healthcare system

K. Zacharowski<sup>1</sup> · P. Meybohm<sup>2</sup> · V. Neef<sup>1</sup> · D. Mehic<sup>1</sup> · S. Choorapoikayil<sup>1</sup>

► **Zitierweise:** Zacharowski K, Meybohm P, Neef V, Mehic D, Choorapoikayil S: Patient Blood Management: Ein Schlüssel für ein nachhaltigeres Gesundheitssystem. Anästh Intensivmed 2025;66:205–209. DOI: 10.19224/ai2025.205

- 1 Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie Goethe-Universität Frankfurt Universitätsmedizin Frankfurt Theodor-Stern-Kai 7 60590 Frankfurt  
(Direktor: Prof. Dr. Dr. K. Zacharowski)
- 2 Universitätsklinikum Würzburg, Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie, Würzburg  
(Direktor: Prof. Dr. P. Meybohm)

### Zusammenfassung

Das Gesundheitswesen trägt wesentlich zu den weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei. Zu den Hauptquellen zählen Energieverbrauch für Heizung und Kühlung, das Abfallmanagement in Krankenhäusern, der Transport von Patienten und u. a. auch die Herstellung und Transfusion von Blutprodukten. Eine effektive Methode zur Einsparung von Blutressourcen ist das Patient Blood Management (PBM). Diese Strategie zielt darauf ab, die Blutgesundheit der Patienten im perioperativen Zeitraum zu optimieren. Durch den gezielten Einsatz von PBM-Maßnahmen können der Bedarf an Blutprodukten, die Dauer des Krankenhausaufenthalts und die Behandlungskosten deutlich reduziert werden. Gleichzeitig tragen diese Maßnahmen dazu bei, Komplikationsraten zu senken. Insofern leisten sie auch einen wichtigen Beitrag zu einem umweltfreundlicheren und nachhaltigeren Gesundheitssystem.

### Summary

The health care sector contributes significantly to global carbon dioxide emissions. Key sources include energy consumption for heating and cooling, waste management in hospitals, patient transport, and the production and transfusion of blood products. An effective method for saving blood resources is Patient Blood Management (PBM), which aims to optimise patients' blood health during the perioperative period. By implementing PBM measures, the need for blood products, hospital stays, and treatment

## Patient Blood Management: Ein Schlüssel für ein nachhaltigeres Gesund- heitssystem

costs can be significantly reduced while lowering complication rates. These measures also contribute to a more environmentally friendly and sustainable health care system.

### Bemühungen zur Dekarbonisierung des Gesundheitswesens

Die Dekarbonisierungsbemühungen im Gesundheitswesen stützen sich auf das **Pariser Abkommen**, das darauf abzielt, den globalen Temperaturanstieg auf unter 1,5–2 °C zu begrenzen. Das ambitionierte Ziel von 1,5 °C findet zunehmend Unterstützung in der politischen und wissenschaftlichen Gemeinschaft, jedoch drängt die Zeit: Bei den derzeitigen Emissionsraten wird das verbleibende Kohlenstoffbudget für die Einhaltung dieses Ziels in etwa acht Jahren ausgeschöpft sein. Um die Auswirkungen verschiedener Treibhausgase auf das Klima besser vergleichen zu können, wird häufig das Konzept des CO<sub>2</sub>-Äquivalents (CO<sub>2</sub>e) genutzt. Es ermöglicht, die Klimawirkung von Gasen wie Methan oder Lachgas in eine äquivalente Menge an Kohlendioxid umzurechnen und damit eine einheitliche Bewertungsgrundlage zu schaffen.

Das Gesundheitswesen ist einer der größten Verursacher von CO<sub>2</sub>-Emissionen und hat einen höheren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck als viele andere Dienstleistungssektoren, mit einem Anteil von 4–5 % an den weltweiten Emissionen, was mehr ist als der gesamte Luft- und Schiffsverkehr

### Schlüsselwörter

Blutgesundheit – CO<sub>2</sub>-Emissionen im Gesundheitswesen – Energieverbrauch im Gesundheitswesen

### Keywords

Blood Health – CO<sub>2</sub> Emissions in Healthcare – Energy Consumption in Healthcare

zusammen. Die Hauptquellen dieser Emissionen sind der Transport von Patienten und Personal, Energieverbrauch (z. B. Heizung und Kühlung), Abfallmanagement, Ernährung und Verpflegung in Krankenhäusern, aber auch Medikamente, Anästhesiegase sowie die Herstellung und der Verbrauch von Blutkonserven [1,2].

Eine systematische Übersichtsarbeit von Drew et al. zeigte, dass der jährliche Klimaeinfluss von Operationssälen zwischen 3,2 und 5,2 Millionen kg CO<sub>2</sub>e lag. Der Klimaeinfluss einzelner chirurgischer Eingriffe variierte erheblich, mit Schätzungen im Bereich von 6 bis 1.007 kg CO<sub>2</sub>e. Anästhesiegase, Einwegmaterialien sowie der Betrieb von Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlagen wurden als Hauptquellen von Emissionen identifiziert. Einwegmaterialien erwiesen sich im Allgemeinen als umweltschädlicher als gleichwertige wiederverwendbare Materialien [3].

Ein erheblicher Teil der Emissionen im Gesundheitssektor lässt sich durch strukturelle Maßnahmen verringern, wie etwa durch die Dekarbonisierung der Energieversorgung, die Einführung strengerer Standards zur Energieeffizienz von Gebäuden oder innovative Lösungen wie die Elektrifizierung des Verkehrsnetzes. Gleichzeitig besteht ein großes Potenzial, Emissionen direkt durch eine effizientere Ressourcennutzung im Gesundheitssystem zu reduzieren.

**Das Centre for Sustainable Healthcare** schlägt vier Prinzipien zur nachhaltigen Gesundheitsversorgung vor [4]:

- Prävention – Der effektivste Weg, die negativen Umweltauswirkungen von Gesundheitsaktivitäten zu verringern, besteht darin, diese von vornherein zu vermeiden.
- Patientenbeteiligung und Autonomie – Die Befähigung von Patienten und die Förderung von Selbstversorgung reduzieren unnötige Kontakte mit Gesundheitsfachkräften und Organisationen.
- Schlanke Dienstleistungserbringung – Die Optimierung von Behandlungsprozessen vermeidet Verschwendungen durch Doppelarbeit oder

Maßnahmen, die keinen Mehrwert bieten oder keinen zusätzlichen Nutzen in den Behandlungspfaden schaffen.

- Kohlenstoffarme Alternativen – Die Priorisierung von Maßnahmen mit geringeren Treibhausgasemissionen und anderen Umweltauswirkungen (ökologischer Fußabdruck) kann die Nachhaltigkeit des Gesundheitswesens verbessern.

Unnötige Verschreibungen von Antibiotika stellen ein erhebliches Problem dar, das nicht nur zur Entwicklung von Resistenzen beiträgt, sondern auch vermeidbare ökologische und gesundheitliche Belastungen verursacht [5]. Etwa 30–50 % des Antibiotikaverbrauchs im US-amerikanischen Gesundheitswesen sind unnötig. In 2022 gab es in den USA 236.100.000 Antibiotikaverschreibungen, von denen laut einer Schätzung wahrscheinlich 66.108.000 unnötig waren und zu 1.887,374 Tonnen CO<sub>2</sub>e an Treibhausgasemissionen führten [6]. Dies entspricht den Emissionen, die bei einer Autofahrt über 7.786.610 km mit einem durchschnittlichen benzinbetriebenen Fahrzeug entstehen.

Auch Inhalationsgase zeigen signifikante Umweltauswirkungen. Halogenierte Gase wie Desfluran und Sevofluran sowie Lachgas tragen erheblich zur globalen Erwärmung bei, da sie sehr langlebig in der Atmosphäre sind. Desfluran etwa hat ein globales Erwärmungspotenzial von 2.540 CO<sub>2</sub>e pro Kilogramm [2,7–9].

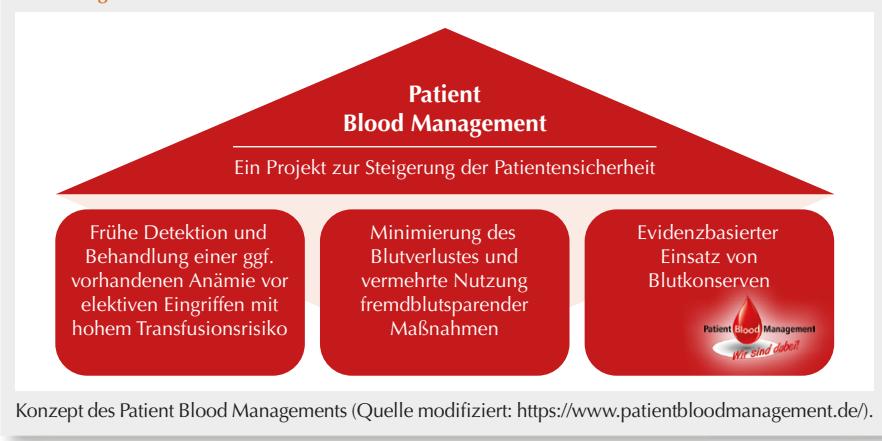
Eine vielversprechende Strategie zur Ressourcenschonung ist das Patient Blood Management (PBM), das darauf abzielt, die Blutgesundheit der Patienten perioperativ zu verbessern. Die gezielte Einsetzung von PBM-Maßnahmen [10] führt zu einer Reduktion des Verbrauchs von Blutprodukten, der Krankenhausverweildauer, Behandlungskosten sowie Komplikationsrate und Sterblichkeit [11]. Dies führt nicht nur zu besseren klinischen Ergebnissen für die Patienten, sondern reduziert auch die Verschwendungen von Ressourcen und senkt den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck im Gesundheitswesen. PBM-Programme bieten sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile, indem sie den Verbrauch von medizinischen Maßnahmen optimieren.

### Das Konzept des Patient Blood Managements

Das Patient Blood Management (PBM) ist ein patientenorientiertes, evidenzbasiertes und multidisziplinäres Konzept zur Steigerung der Patientensicherheit. International und national wurde bereits mehrfach der Nutzen eines PBMs bewiesen [12]. Das PBM umfasst Behandlungsmaßnahmen basierend auf drei Säulen (Abb. 1):

1. Säule: (Präoperatives) Anämie-Management
2. Säule: Minimierung von Blutverlusten
3. Säule: Evidenzbasierter Einsatz von Blutprodukten

Abbildung 1

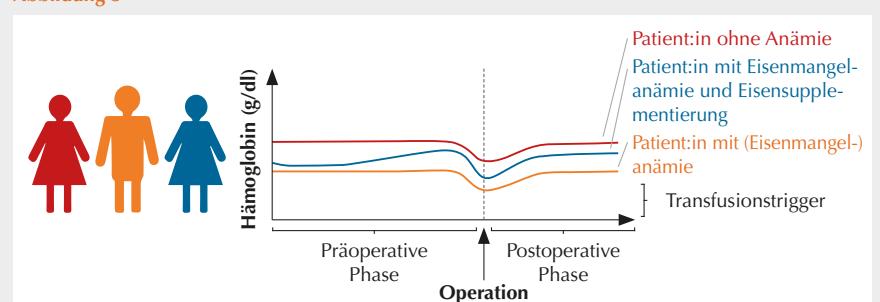


## Säule 1: (Präoperatives) Anämie-Management

Mit etwa 2,36 Milliarden Betroffenen, was etwa einem Drittel der Weltbevölkerung entspricht, zählt die Anämie zu den häufigsten Erkrankungen weltweit [13,14]. Im chirurgischen Setting ist sogar jeder dritte Patient von einer Anämie betroffen [15]. Zudem weisen über 600 Millionen Patienten Gerinnungsstörungen sowie akute oder chronische Blutverluste auf, die Anämien verursachen oder verschärfen können. Zahlreiche Studien zeigen, dass eine präoperative Anämie das postoperative Outcome negativ beeinflusst und der größte Prädiktor für die Notwendigkeit einer Bluttransfusion ist [16,17]. Große chirurgische Eingriffe führen oftmals zu einem erheblichen Blutverlust. Patienten mit Anämie weisen im Vergleich zu Patienten ohne Anämie ein signifikant erhöhtes Risiko für die Notwendigkeit einer Bluttransfusion auf (Abb. 2).

Die Transfusion von Erythrozytenkonzentraten (EKs) stellt eine essenzielle Maßnahme in der Behandlung schwerer Anämien dar, insbesondere bei akuten Notfällen wie massivem Blutverlust oder lebensbedrohlichen Zuständen. In solchen Fällen dienen EKs dem Ersatz von Erythrozyten, die für den Sauerstofftransport unverzichtbar sind. In der klinischen

Abbildung 3



Schematischer Hämoglobin-Verlauf in Patienten mit chirurgischem Eingriff.

Praxis wird jedoch häufig von aktuellen Leitlinien abgewichen, so dass EKs auch bei nicht dringlichen Indikationen transfundiert werden. Zudem wird vereinzelt das überholte Konzept verfolgt, routinemäßig zwei EKs zu verabreichen, obwohl in vielen Fällen eine Einzelgabe ausreichend ist. Erythrozytenkonzentrate sind mit Risiken behaftet, was eine strenge Indikationsstellung erfordert.

Die erste Säule des PBM-Programmes beinhaltet die Optimierung der körpereigenen Blutproduktion und zielt darauf ab, die Blutbildung und den Hämoglobin-Wert des Patienten vor geplanten Operationen zu optimieren. Dabei liegt der Fokus auf der frühzeitigen Erkennung und Behandlung von Anämie

sowie der Sicherstellung einer ausreichenden Versorgung mit Nährstoffen, die für die Blutbildung wichtig sind. Eisenmangel ist eine der häufigsten Ursachen für Anämie. Eine gezielte und frühzeitige Supplementierung mit oralen oder intravenösen Eisenpräparaten führt zu einem Anstieg des Hämoglobins und oftmals zu einer Behebung der Anämie (Abb. 3).

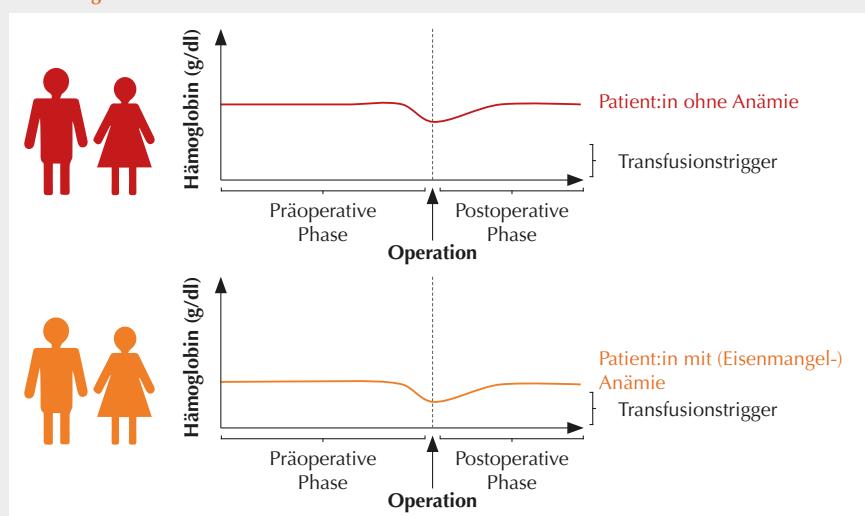
Zahlreiche Studien zeigen den positiven Effekt der Therapie einer Eisenmangelanämie auf das postoperative Outcome. Insbesondere führt die Behebung der präoperativen Anämie zu einer Senkung der Komplikationsrate, der Krankenhausverweildauer sowie zu einer Reduktion der Transfusionsrate [18,19].

## Säule 2: Minimierung des Blutverlustes

Die zweite Säule des PBM konzentriert sich darauf, den Blutverlust während und nach operativen Eingriffen zu minimieren. Zu den PBM-Maßnahmen der zweiten Säule gehören minimalinvasive Operationen sowie chirurgische Instrumente wie Elektrokauter oder Laser, die Gewebe gleichzeitig schneiden und Blutungen stillen. Zur Blutstillung werden zusätzlich hämostatische Produkte wie Gewebekleber, Schwämme oder spezielle Fibrinkleber (Tranexamsäure) verwendet, um den Blutverlust weiter einzudämmen.

Ein weiteres wichtiges Verfahren zur Blutverlustminimierung ist die maschinelle Autotransfusion. Hierbei wird während der Operation verloren gegangenes Blut aufgefangen, gefiltert und dem Patienten

Abbildung 2



Schematischer Hämoglobin-Verlauf in chirurgischen Patienten mit bzw. ohne präoperativer Anämie.

wieder zugeführt. Dies ermöglicht es, das eigene Blut des Patienten zu „recyclen“ und reduziert die Notwendigkeit, Fremdblut zu transfundieren [20].

Blutentnahmen spielen eine zentrale Rolle in der Diagnostik und Therapieüberwachung, insbesondere im stationären Bereich. Sie liefern essenzielle Laborparameter, die zur Bewertung von Organfunktionen und physiologischen Prozessen herangezogen werden. Präoperativ dienen sie der Risikoeinschätzung, während sie intra- und postoperativ die Überwachung von Gerinnungsparametern und Blutgaswerten ermöglichen. Dennoch geht die hohe Frequenz von Blutentnahmen im Krankenhaus oft mit erheblichen Blutverlusten einher. Studien berichten, dass während eines stationären Aufenthalts bis zu 500 ml Blut allein für diagnostische Zwecke entnommen werden können [21]. Insbesondere bei kritisch kranken Patienten, die über zentrale Venenkatheter oder arterielle Katheter versorgt werden, steigt die Entnahmefrequenz signifikant. Arterielle Katheter, die eine kontinuierliche Blutentnahme ermöglichen, verdoppeln die Blutverluste im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren. Um diese Herausforderungen zu adressieren, stellen geschlossene Blutentnahmesysteme eine vielversprechende Lösung dar. Diese Systeme minimieren den Blutverlust, indem sie das Verwerfen von Blutproben vermeiden. Der Entnahmeprozess erfolgt direkt in geschlossenen Systemen, wodurch das Risiko von Kontaminationen und Infektionen signifikant reduziert wird. Solche Systeme sind besonders vorteilhaft bei Patienten, die einer intensiven Überwachung bedürfen, da sie Blutverlust und mögliche Komplikationen gleichzeitig verringern [22].

### Säule 3: Evidenzbasierter Einsatz von Blutprodukten

Die dritte Säule des PBM zielt darauf ab, die Toleranz des Patienten gegenüber einer Anämie zu verbessern und Bluttransfusionen gezielt und ressourcenschonend einzusetzen. Anstelle der routinemäßigen Transfusion von EKs soll anhand von Leitlinien genau abgewogen

werden, ob eine Transfusion medizinisch notwendig ist. Dies fördert die Sicherheit der Patienten und hilft, die wertvollen Blutressource gezielt und ressourcenschonend einzusetzen.

### Auswirkungen auf die Umwelt und Ressourceneffizienz

Die Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment, LCA) kann z. B. medizinischem Fachpersonal quantifizierte Umweltkennzahlen liefern, um Entscheidungen zu treffen, die die Umweltbelastung von Medizinprodukten, -prozessen und -systemen minimieren [23].

Das PBM-Konzept führt nicht nur zu einer Senkung der postoperativen Komplikationsrate und der Krankenhausverweildauer, sondern trägt auch maßgeblich zu einer Reduktion des Bedarfs von Blutprodukten bei. Bluttransfusionen setzen eine Reihe komplexer, eng miteinander verzahnter Prozesse voraus, die von der Spende über die Herstellung der Konserven bis hin zur Bereitstellung reichen. Hibbs et al. führten eine LCA für EKs in England durch, wo jährlich 1,36 Millionen EKs transfundiert werden. Der Prozessablauf wurde in sieben Kategorien unterteilt: Blutspende, Transport, Herstellung, Testung, Lagerung, Krankenhaus-Transfusion und Entsorgung. Der Mittelwert für den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck pro transfundierter EK-Konserven betrug 7,6 kg CO<sub>2</sub>e. Der größte Beitrag stammte aus dem Transport (2,8 kg CO<sub>2</sub>e, 36 % des Gesamtwertes). An zweiter Stelle standen Krankenhaus-Transfusionsprozesse (1,9 kg CO<sub>2</sub>e, 26 %), vor allem durch den Energiebedarf für Kühlung. An dritter Stelle folgte der Bereich der Blutspende (1,3 kg CO<sub>2</sub>e, 17 %), primär bedingt durch die Kunststoff-Blutbeutel. Die Gesamtemissionen durch EK-Transfusionen beliefen sich auf etwa 10,3 Millionen kg CO<sub>2</sub>e pro Jahr. Weniger Transfusionen bedeuten eine direkte Verringerung der Anzahl produzierter, gelagerter und transportierter Blutkonserven – und damit auch eine Reduktion der mit diesen Prozessen verbundenen Emissionen.

Die Implementierung von PBM-Maßnahmen führt nicht nur zu einer Verbes-

serung der Patientensicherheit, sondern kann den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck im Gesundheitswesen deutlich senken, da sie den Bedarf an Fremdbluttransfusionen und damit verbundenen Ressourcen wie Transport, Lagerung und Herstellung reduziert. Effizientere Ressourcennutzung, wie die Wiederverwendung von Eigenblut durch maschinelle Autotransfusion, minimiert die Abhängigkeit von der Blutproduktlieferkette. Zusätzlich führt PBM zu weniger postoperativen Komplikationen, wodurch der Bedarf an weiteren Eingriffen, diagnostischen Tests und Medikamenten gesenkt wird. Durch PBM kann der Ressourcenverbrauch reduziert werden und ein wesentlicher Beitrag zu umweltfreundlicheren und nachhaltigeren Gesundheitssystemen geleistet werden.

### Interessenkonflikt

Die Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie der Universitätsmedizin Frankfurt an der Goethe-Universität erhielt Unterstützung von B. Braun Melsungen, CSL Behring, Fresenius Kabi und Vifor Pharma für die Umsetzung des Frankfurter Patient Blood Management-Programms. KZ erhielt Honorare für die Teilnahme an Beiratssitzungen für Haemonetics und Vifor Pharma und erhielt Vortragshonorare von CSL Behring, Masimo, Pharmacosmos, Boston Scientific, Salus, i-SEP, Edwards Lifesciences, HemoSonics und GE Healthcare. Er ist Principal Investigator des EU Horizon 2020-Projekts ENVISION (intelligentes digitales Plug-and-Play-Tool für die Echtzeit-Überwachung von COVID-19-Patienten und intelligente

Entscheidungsfindung auf Intensivstationen) und des Horizon Europe 2021-Projekts COVend (Biomarker- und KI-gestützte FX06-Therapie zur Verhinderung des Fortschreitens von leichten und mittelschweren bis schweren Stadien von COVID-19). Partner für das EU Horizon 2023-Projekt EDiHTA. KZ leitet als CEO die Christoph Lohfert Stiftung sowie die Stiftung für Gesundheit, Patientensicherheit und Patient Blood Management.

PM bzw. seine Klinik bekamen für Forschungsvorhaben und für die Durchführung von klinischen Studien Gelder vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF, 01KG1815), Bundesministerium für Gesundheit (BMG, ZMVI1-2520DAT10E, ZMII2-2523FEP50A), CSL Behring sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG, ME3559/1-1, ME3559/3-1, ME6094/3-2). PM erhielt Vortragshonorare und Reisekostenförderung von CSL Behring, CSL Vifor, Pharmacosmos und Werfen. PM ist Mitglied im Vorstand der Stiftung für Gesundheit, Patientensicherheit und Patient Blood Management (PBM Foundation), des Networks for the Advancement of Patient Blood Management, Haemostasis and Thrombosis (NATA) sowie Mitglied im Ständigen Arbeitskreis des Wissenschaftlichen Beirats „Querschnitts-Leitlinien zur Therapie mit Blutkomponenten und Plasmaderivaten“. VN erhielt Honorare für Vorträge und Reisekostenförderungen von Sysmex, Pharmacosmos, MCN Medizinische Congressorganisation sowie Unterstützung für Publikationskosten von der Goethe-Universität Frankfurt.

SC und DM haben keine Interessenkonflikte.

## Literatur

1. Bhopal A, Norheim OF: Priority setting and net zero healthcare: how much health can a tonne of carbon buy? *BMJ* 2021;375:e067199
2. Zacharowski K: Green Hospital – Medizin ohne CO2-Fußabdruck? *Anästh Intensivmed* 2023;64:433–437
3. Drew J, Christie SD, Tyedmers P, Smith-Forrester J, Rainham D: Operating in a Climate Crisis: A State-of-the-Science Review of Life Cycle Assessment within Surgical and Anesthetic Care. *Environ Health Perspect* 2021;129:76001
4. Walpole SC, Eii MN, Lyons T, Aldridge C: Improving Antimicrobial Use to Protect the Environment: What Is the Role of Infection Specialists? *Antibiotics* 2023;12:640
5. Limmathurotsakul D, Sandoe JAT, Barrett DC, Corley M, Hsu LY, Mendelson M, et al: 'Antibiotic footprint' as a communication tool to aid reduction of antibiotic consumption. *J Antimicrob Chemother* 2019;74:2823
6. Spivak ES, Tobin J, Hersh AL, Lee AP: Greenhouse gas emissions due to unnecessary antibiotic prescriptions. *Antimicrob Steward Healthc Epidemiol* 2024;4:e114
7. McGain F, Muret J, Lawson C, Sherman JD: Environmental sustainability in anaesthesia and critical care. *Br J Anaesth* 2020;125:680–692
8. Sherman J, Le C, Lamers V, Eckelman M: Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Anesthetic Drugs. *Anesth Analg* 2012;114:1086–1090
9. Sulbaek Andersen MP, Nielsen OJ, Sherman JD: Assessing the potential climate impact of anaesthetic gases. *Lancet Planet Health* 2023;7:e622–e629
10. Meybohm P, Richards T, Isbister J, Hofmann A, Shander A, Goodnough LT, et al: Patient Blood Management Maßnahmenbündel. *Anästh Intensivmed* 2017;58:16–29
11. Meybohm P, Schmitt E, Choorapoikayil S, Hof L, Old O, Müller MM, et al: German Patient Blood Management Network: effectiveness and safety analysis in 1.2 million patients. *Br J Anaesth* 2023;131:472–481
12. Althoff FC, Neb H, Herrmann E, Trentino KM, Vernich L, Füllenbach C, et al: Multimodal Patient Blood Management Program Based on a Three-pillar Strategy: A Systematic Review and Meta-analysis. *Ann Surg* 2019;269:794–804
13. GBD 2021 Anaemia Collaborators: Prevalence, years lived with disability, and trends in anaemia burden by severity and cause, 1990–2021: findings from the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet Haematol* 2023;10:e713–e734
14. GBD 2015 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators: Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 310 diseases and injuries, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet* 2016;388:1545–1602
15. Muñoz M, Gómez-Ramírez S, Campos A, Ruiz J, Liumbruno GM: Pre-operative anaemia: prevalence, consequences and approaches to management. *Blood Transfus* 2015;13:370–379
16. Musallam KM, Tamim HM, Richards T, Spahn DR, Rosendaal FR, Habbal A, et al: Preoperative anaemia and postoperative outcomes in non-cardiac surgery: a retrospective cohort study. *Lancet* 2011;15;378:1396–1407
17. Baron DM, Hochrieser H, Posch M, Metnitz B, Rhodes A, Moreno RP, et al: Preoperative anaemia is associated with poor clinical outcome in non-cardiac surgery patients. *Br J Anaesth* 2014;113:416–423
18. Triphaus C, Judd L, Glaser P, Goehring MH, Schmitt E, Westphal S, et al: Effectiveness of Preoperative Iron Supplementation in Major Surgical Patients With Iron Deficiency: A Prospective Observational Study. *Ann Surg* 2021;274:e212–e219
19. Neef V, Baumgarten P, Noone S, Piekarski F, Triphaus C, Kleinerüschkamp A, et al: The impact of timing of intravenous iron supplementation on preoperative haemoglobin in patients scheduled for major surgery. *Blood Transfus* 2022;20:188–197
20. Meybohm P, Choorapoikayil S, Wessels A, Herrmann E, Zacharowski K, Spahn DR: Washed cell salvage in surgical patients: A review and meta-analysis of prospective randomized trials under PRISMA. *Medicine (Baltimore)* 2016;95:e4490
21. Vincent JL, Baron JF, Reinhart K, Gattinoni L, Thijs L, Webb A, et al: Anemia and blood transfusion in critically ill patients. *JAMA* 2002;288:1499–1507
22. Neef V, Himmelle C, Piekarski F, Blum LV, Hof L, Derwich W, et al: Effect of using smaller blood volume tubes and closed blood collection devices on total blood loss in patients undergoing major cardiac and vascular surgery. *Can J Anaesth* 2024;71:213–223
23. McGinnis S, Johnson-Privitera C, Nunziato JD, Wohlford S: Environmental Life Cycle Assessment in Medical Practice: A User's Guide. *Obstet Gynecol Surv* 2021;76:417–428.

## Korrespondenz-adresse

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



Klinik für Anästhesiologie,  
Intensivmedizin und Schmerztherapie  
Goethe-Universität Frankfurt  
Universitätsmedizin Frankfurt  
Theodor-Stern-Kai 7  
60590 Frankfurt am Main, Deutschland  
Tel.: 069 6301 5998  
E-Mail:  
zacharowski@med.uni-frankfurt.de  
ORCID-ID: 0000-0002-0212-9110