

01.05.2026 Nachhaltigkeit

CO₂-Fußabdruck von offenen Operationen, Laparoskopie und Robotik

Johannes Klose



Nachhaltigkeit als neue Dimension chirurgischer Versorgungsqualität

Der Klimawandel rückt die ökologische Verantwortung des Gesundheitswesens zunehmend in den Fokus. In den westlichen Industrienationen verursacht das Gesundheitssystem 4–8 % der nationalen Treibhausgasemissionen [1, 2]. Der Operationssaal zählt dabei zu den ressourcen- und

energieintensivsten Bereichen eines Krankenhauses und trägt wesentlich zu dessen CO₂-Emissionen bei [3]. Lebenszyklusanalysen zeigen, dass ein erheblicher Anteil der Emissionen nicht intraoperativ, sondern in vorgelagerten Produktions- und Lieferketten entsteht. Offene Verfahren sind apparativ weniger komplex, können jedoch durch längere postoperative Verweildauer relativ höhere Gesamtressourcenverbräuche verursachen. Laparoskopische Eingriffe weisen häufig einen erhöhten materialbedingten CO₂-Ausstoß auf, profitieren jedoch von verkürzten Krankenhausaufenthalten und reduzierten Komplikationsraten. Robotische Verfahren zeigen derzeit meist die höchsten prozedurbezogenen Emissionen, insbesondere aufgrund energieintensiver Systemtechnik und limitierter Instrumentennutzungszyklen.

Neben der Operationstechnik beeinflussen strukturelle Faktoren wie OP-Auslastung, Energiequelle des Krankenhauses, Instrumentenmanagement und insbesondere die Wahl des Anästhesieverfahrens die Klimabilanz erheblich. Nachhaltige Chirurgie erfordert daher eine systemische, interdisziplinäre Betrachtung. Die ökologische Bewertung chirurgischer Verfahren sollte die gesamte Behandlungskette berücksichtigen. Nachhaltigkeit entwickelt sich damit zu einer zusätzlichen Dimension chirurgischer Qualität, ohne die patientenzentrierte Indikationsstellung zu kompromittieren. Das Ziel dieses Beitrags ist es, den CO₂-Fußabdruck offener, laparoskopischer und robotischer Operationsverfahren vergleichend darzustellen und zentrale Einflussfaktoren zu identifizieren.

Emissionsquellen im OP

Die Emissionen entstehen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Lebenszyklusanalysen (*Life Cycle Assessments, LCA*) zeigen, dass ein großer Anteil der CO₂-Last aus Herstellung, Transport und Entsorgung von

Medizinprodukten stammt [4, 5]. Relevante Quellen sind:

- Energiebedarf von Raumluftechnik (Laminar-Flow), Klimatisierung und Beleuchtung
- Stromverbrauch medizinischer Geräte
- Produktion und Entsorgung von Einwegmaterialien
- Sterilisation und Aufbereitung von Mehrweginstrumenten
- Anästhesiegase mit hohem Treibhauspotenzial
- Logistik und Lieferketten

Oft werden 60–80 % der Emissionen vorgelagerten Prozessen zugeschrieben [5]. Die Wahl des Verfahrens beeinflusst somit nicht nur den intraoperativen Verbrauch, sondern auch die industrielle Emissionsbilanz.

Offene Chirurgie

Der CO₂-Fußabdruck, ausgedrückt als das CO₂-Äquivalent (CO₂e), gilt als das direkteste Maß für die verursachte Umweltbelastung eines bestimmten Ereignisses, Methode, Verfahren oder ähnlichem [6]. Daher wurde die Bestimmung des CO₂e auch in der Chirurgie untersucht, um das mit der Prozedur verbundene Ausmaß der Umweltbelastung quantifizieren zu können.

Offene Eingriffe sind apparativ weniger komplex als minimalinvasiver Verfahren. So entfallen etwa Insufflatoren, Videotürme oder Robotersysteme. Insgesamt ist die Datenlage zum CO₂-Fußabdruck der offenen Chirurgie schmal. Wenige Daten zu gynäkologischen Prozeduren suggerieren eine bessere CO₂-Bilanz offener Operationen im Vergleich zur minimalinvasiven Technik [7, 8]. Im direkten OP-Vergleich zeigen sich teils geringere gerätebezogene Emissionen [4]. Dieser Vorteil relativiert sich jedoch bei Einbezug postoperativer Faktoren. Längere Verweildauer, höherer Analgetikabedarf und potenziell mehr Wundkomplikationen können den stationären Ressourcenverbrauch erhöhen [3]. Eine valide ökologische Bewertung muss daher die gesamte Behandlungskette berücksichtigen.

Minimalinvasive Chirurgie

Die minimalinvasive Chirurgie erfordert neben der CO₂-Insufflation, Video- und Lichtsysteme sowie häufig Einweg-Trokare und Energieinstrumente. Für einzelne Eingriffe wurde ein erhöhter materialbedingter CO₂-Ausstoß gegenüber offenen Verfahren beschrieben [4]. Robotische Systeme erhöhen Präzision und Ergonomie, gehen jedoch mit zusätzlichem apparativem Aufwand einher: höherer Energiebedarf, komplexe Herstellung der Plattform sowie limitierte Nutzungszyklen der Instrumente. Vergleichende Analysen berichten häufig die höchsten prozedurbezogenen Emissionen für robotische Eingriffe [7]. Haupttreiber sind Produktion und begrenzte Wiederverwendbarkeit der Instrumente. Gleichzeitig sind postoperative Vorteile gut belegt: weniger Schmerzen, geringere Komplikationsraten, kürzere Liegedauer [3, 6]. Diese Effekte reduzieren stationäre Ressourcen und können die Gesamtbilanz verbessern. Präzisere Daten hinsichtlich des CO₂-Fußabdruckes kommen wieder aus der Gynäkologie. Robotische Operationen, wie die robotisch-assistierte Hysterektomie, weisen dabei im Vergleich zur laparoskopischen Technik ein höheres CO₂e auf. Im Durchschnitt entsteht bei einer robotischen Hysterektomie ein CO₂e von 40,3 kg pro Patientin im Vergleich zu 29,9 kg CO₂e pro Patientin im Rahmen einer laparoskopischen Hysterektomie oder 22,7 kg CO₂e pro Patientin bei einer konventionell offenen Hysterektomie [7, 8]. Damit verursacht eine robotische Hysterektomie durchschnittlich eine höheres CO₂e verglichen mit den laparoskopischen bzw. offenen

Operationstechnik ($p < 0,01$). Im Vergleich dazu weisen andere chirurgische Prozeduren ein deutlich niedrigeres CO₂e auf. Eine minimalinvasive Emulsifikation der Augenlinse führt zu einem CO₂e von 6 kg pro Fall [10]. Die CO₂-Emission wird dabei insbesondere durch die notwendige Energie und die Entsorgung des entstandenen Mülls verursacht.

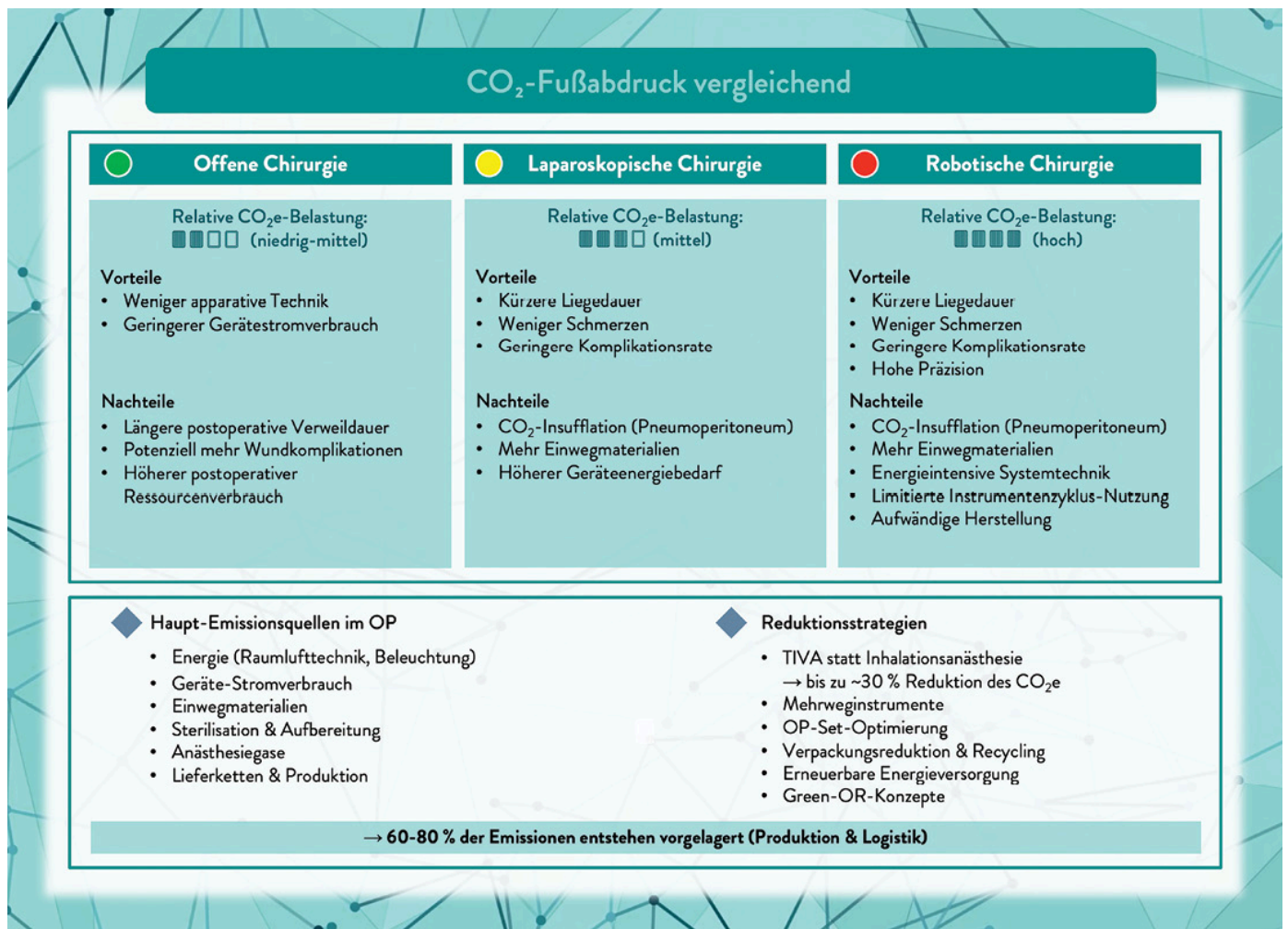


Abb. 1: Vergleich des CO₂-Fußabdrucks von offenen Operationen, Laparoskopie und Robotik, Emissionsquellen im OP und Reduktionsstrategien.

Bei der minimalinvasiven Chirurgie wird die CO₂-Emission einerseits durch die Insufflation des Gases zur Herstellung eines Pneumoperitoneums verwendet [10]. Das dadurch verursachte CO₂e akkumuliert sich im Jahr auf geschätzte 355.294 Tonnen CO₂, die in den USA jährlich durch laparoskopische oder robotische Operationen verursacht werden [11]. Dennoch ist die reine CO₂-Insufflation und der damit verbundene Ausstoß von Treibhausgasen nicht der einzige Grund für das hohe CO₂e der minimalinvasiven Chirurgie. Alle für die Sterilisation der Instrumente notwendige Energie, der Energieverbrauch der Geräte an sich (Strom-Applikator für die monopolaren oder bipolaren Koagulationsgeräte oder der Monitor), der OP-Beleuchtung oder der durch die Anästhesie verursachte Verbrauch an CO₂ hat einen erheblichen Anteil an dem CO₂e minimalinvasiver Operationen [10]. Hier zeigt sich zugleich eine Möglichkeit, das CO₂e zu reduzieren. Dazu gehört beispielsweise die Verwendung von total intravenösen Narkoseführungen und der Verzicht auf Gasnarkosen [12]. Allein durch die Verwendung der total intravenösen Anästhesie (TIVA) kann eine Reduktion des CO₂e um knapp ein Drittel erreicht werden [12, 13].

Strukturelle Faktoren

Zentrale Ansätze zur Reduktion der CO₂-Belastung minimalinvasiver Operationen sind standardisierte OP-Sets, die Reduktion unnötiger Einwegkomponenten und – wo sicher möglich – der Einsatz von Mehrweginstrumenten [15]. Neben dem Verfahren wirken OP-Dauer, Saalauslastung, Energiequelle der Klinik, Wiederaufbereitung und Abfallmanagement auf die Bilanz. Green-OR-Initiativen zeigen relevante Reduktionen ohne Einbußen der Patientensicherheit [15, 16]. Optimierte Instrumentensiebe, Verpackungsreduktion, Recyclingprogramme und energieeffiziente Raumluftechnik sind wirksame Maßnahmen. Eine erneuerbare Stromversorgung verbessert die Bilanz aller Verfahren deutlich [16].

Fazit

Der OP ist ein Emissions-Hotspot. Offene Verfahren sind apparativ weniger komplex, aber nicht automatisch klimafreundlicher. Laparoskopische Eingriffe verursachen höhere Materialemissionen, können durch kürzere Verweildauer kompensieren. Robotische Operationen zeigen derzeit meist die höchsten prozedurbezogenen Emissionen. Entscheidend ist die systemische Optimierung der chirurgischen Versorgung. Die Indikationsstellung bleibt primär patientenorientiert. Klimaschutz darf die Behandlungsqualität nicht kompromittieren. Sind Verfahren klinisch gleichwertig, kann die ökologische Bilanz jedoch ein legitimer Entscheidungsfaktor sein. Nachhaltigkeit wird damit zu einer zusätzlichen Dimension chirurgischer Qualität. Die entscheidende Frage lautet daher nicht „Welches Operationsverfahren ist am nachhaltigsten?“, sondern „Wie gestaltet man chirurgische Versorgung insgesamt klimaverträglicher?“. Nachhaltiges Handeln und achtsames Operieren wird damit zu einer neuen Qualitätsdimension chirurgischer Exzellenz.

Literatur

- [1] Eckelman MJ, Sherman J. *Environmental impacts of the U.S. health care system and effects on public health. PLoS One. 2016;11(6):e0157014.*
- [2] World Health Organization. *Health care's climate footprint: how the health sector contributes to the global climate crisis and opportunities for action. Geneva: WHO; 2019.*
- [3] MacNeill AJ, Lillywhite R, Brown CJ. *The impact of surgery on global climate: a carbon footprinting study of operating theatres in three health systems. Lancet Planet Health. 2017;1(9):e381–e388.*
- [4] Thiel CL, Eckelman M, Guido R, et al. *Environmental impacts of surgical procedures: life cycle assessment of hysterectomy in the United States. Environ Sci Technol. 2015;49(3):1779–1786.*
- [5] Rizan C, Steinbach I, Nicholson R, Lillywhite R, Reed M. *The carbon footprint of surgical operations: a systematic review. Ann Surg. 2020;272(6):986–995.*
- [6] Rodríguez de Santiago, E., et al., *Reducing the environmental footprint of gastrointestinal endoscopy: European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) and European Society of Gastroenterology and Endoscopy Nurses and Associates (ESGENA) Position Statement. Endoscopy, 2022. 54(8): p. 797-826.*
- [7] Woods DL, McAndrew T, Nevadunsky N, Hou JY, Goldberg G, Yi-Shin Kuo D et al (2015) *Carbon footprint of robotically-assisted laparoscopy, laparoscopy and laparotomy: a comparison. Intern J Med Robot Comp Assis Surg 11(4):406–412*
- [8] Ramani S, Hartnett J, Karki S, Gallousis SM, Clark M, Andikyan V (2023) *Carbon dioxide emissions and environmental impact of different surgical modalities of hysterectomies. J Soc Laparoendos Surg. 10.4293/JLS.2023.00021*

[9] Papadopoulou A, Kumar NS, Vanhoestenbergh A, Francis NK. *Br J Surg*. 2022 Sep 9;109(10):921-932. doi: 10.1093/bjs/znac191.

[10] Thiel, C.L., et al., *Cataract surgery and environmental sustainability: Waste and lifecycle assessment of phacoemulsification at a private healthcare facility. J Cataract Refract Surg*, 2017. 43(11): p. 1391-1398.

[11] Thiel CL, Woods NC, Bilec MM. *Strategies to reduce greenhouse gas emissions from laparoscopic surgery. J Minim Invasive Gynecol*. 2018;25(6):1025–1033.

[12] Power, N.E., et al., *Environmental impact of minimally invasive surgery in the United States: an estimate of the carbon dioxide footprint. J Endourol*, 2012. 26(12): p. 1639-44.

[13] Singh, H., et al., *Mandatory Reporting of Emissions to Achieve Net-Zero Health Care. N Engl J Med*, 2022. 387(26): p. 2469-2476.

[14] Sherman JD, Thiel C, MacNeill A, et al. *The Green Print: advancement of environmental sustainability in healthcare. Resour Conserv Recycl*. 2020;161:104882.

[15] Overcash M. *A comparison of reusable and disposable perioperative textiles: sustainability state-of-the-art 2012. Anesth Analg*. 2012;114(5):1055–1066.

[16] 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(1):3–19.

Klose J: *CO₂-Fußabdruck von offenen Operationen, Laparoskopie und Robotik. Passion Chirurgie*. 2026 Mai; 16(05): Artikel 03_01.

Autor:in des Artikels



Prof. Dr. med. Johannes Klose

Klinik für Viszerale, Gefäß- und Endokrine
Chirurgie
Universitätsmedizin Halle (Saale)
Ernst-Grube-Straße 40
06120 Halle (Saale)

[> kontaktieren](#)