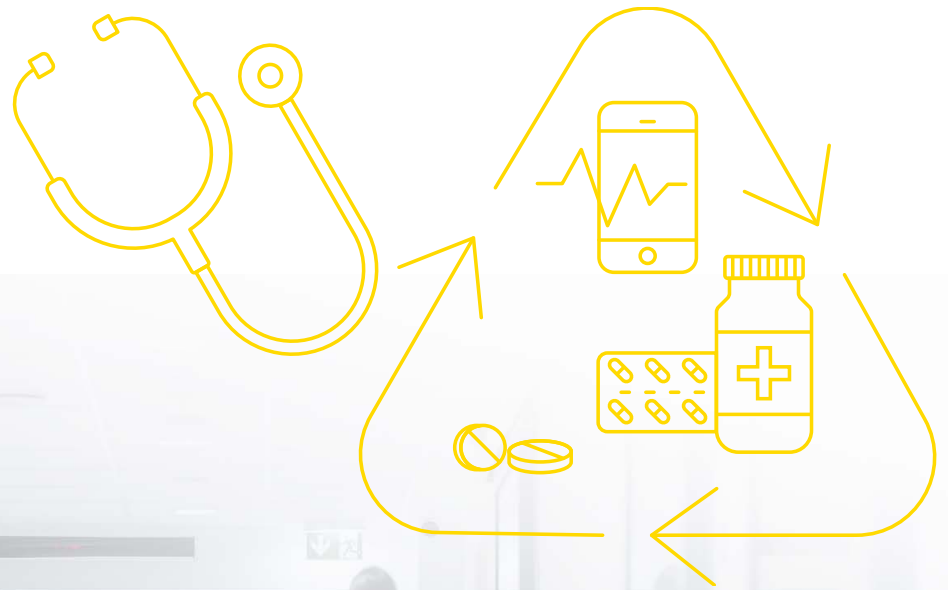


Analyse zum Klimaimpact der Gesundheitsversorgung: Emissionsquellen, Handlungsfelder, Gestaltungsoptionen



Impressum

Autor

Prof. Dr. Oliver Gröne
OptiMedis
Burchardstraße 17
20095 Hamburg

im Auftrag von

BKK Dachverband e.V.
Stabsstelle Nachhaltigkeit
10117 Berlin
Email: nachhaltigkeit@bkk-dv.de
Internet: bkk-dachverband.de

Gestaltung

Sven Stüber, superieur-graphique.com

Coverfoto

[istock.com/gorodenkoff](https://www.istock.com/gorodenkoff)

Berlin, 01.04.2026

Inhaltsverzeichnis

1.	Executive Summary	4
2.	Hintergrund und Ziele	6
3.	Emissionsquellen im Gesundheitswesen	7
3.1.	Emissions- und Ressourcenhotsspots im Gesundheitssystem	7
3.1.1.	<i>Beschaffungs- und Lieferketten</i>	8
3.1.2.	<i>Energieverbrauch in stationären Einrichtungen</i>	9
3.1.3.	<i>Behandlungsprozesse im Krankenhaus</i>	9
3.1.4.	<i>Versorgungsmodelle und Über-, Fehl- und Unterversorgung</i>	11
3.1.5.	<i>Mobilität und Transport</i>	12
3.1.6.	<i>Abfall-, Wasser- und Ressourcenverbräuche</i>	12
3.2.	Emissionen bei spezifischen Erkrankungsbildern	13
3.2.1.	<i>Herz-Kreislauf-Erkrankungen</i>	13
3.2.2.	<i>Asthma und COPD</i>	14
3.2.3.	<i>Diabetes mellitus Typ 1 und Typ 2</i>	14
3.2.4.	<i>Neubildungen (Onkologische Erkrankungen)</i>	15
3.2.5.	<i>Muskel-Skelett-Erkrankungen</i>	15
3.2.6.	<i>Chronische/fortgeschrittene Nierenerkrankungen</i>	16
3.3.	Gesundheitssysteme auf dem Weg zu Net Zero	18
3.3.1.	<i>Internationale Vorreitermodelle</i>	18
3.3.2.	<i>Die Rolle von „Green Insurance“</i>	22
4.	Wissenslücken und Forschungsfragen	24
5.	Analyse zentraler Handlungsfelder und Stellschrauben	28
5.1.	Green hospital/green practices	28
5.2.	Vermeidung von Krankenhausaufenthalten durch Prävention und Frühintervention	30
5.3.	Digitalisierung und Telemedizin	31
5.4.	Arzneimittel	32
5.5.	Medizinprodukte	35
5.6.	Patientenperspektive	37
6.	Gestaltungsoptionen und Handlungsempfehlungen	39
6.1.	Gestaltungsoptionen für Krankenkassen.	39
6.2.	Handlungsempfehlungen	41
6.2.1.	<i>Kurzfristig</i>	41
6.2.2.	<i>Mittelfristig</i>	42
6.2.3.	<i>Langfristig 3–10+ Jahre</i>	43
7.	Literatur	44
8.	Annex	50
8.1.	Datenbanken zur Klimamodellierung	50
8.2.	Vergleich internationaler Gesundheitssysteme zu Net Zero Strategien	53
8.3.	Arzneimittel: Interventionsmatrix.	56
8.4.	Medizinprodukte: Interventionsmatrix	57
8.5.	Digitale Interventionen: Interventionsmatrix.	58

1. Executive Summary

Der Klimawandel stellt das Gesundheitssystem vor eine doppelte Herausforderung: Einerseits verschärfen die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels Morbidität, Versorgungsbedarf und Kosten, andererseits trägt die Gesundheitsversorgung selbst erheblich zu Treibhausgasemissionen und Ressourcenverbrauch bei. Internationalen Schätzungen zufolge verursacht der Gesundheitssektor je nach Land rund 4–10% der nationalen Treibhausgasemissionen; in Deutschland liegt sein Anteil bei über 5%. Viele klimaschädliche Versorgungspraktiken sind medizinisch vermeidbar und bringen nur einen geringen Zusatznutzen für Patient:innen.

Vor diesem Hintergrund analysiert der vorliegende Bericht systematisch den Klimaimpact der Gesundheitsversorgung entlang von Versorgungspfaden. Ziel ist es, Emissions- und Ressourcenhotspots sichtbar zu machen, Wissenslücken zu identifizieren und evidenzbasierte Gestaltungsoptionen sowie konkrete Handlungsempfehlungen abzuleiten – mit besonderem Fokus auf die Rolle von Krankenkassen als systemische Steuerungsakteure.

Zentrale Ergebnisse

Der Klimaimpact wird primär durch Versorgungsdesign bestimmt, nicht durch Einzeltechnologien.

Die Literatur zeigt konsistent, dass der größte Teil der Emissionen nicht aus einzelnen Gebäuden oder Geräten entsteht, sondern aus der Art, dem Umfang und der Organisation der Versorgung. Dominant sind vorgelagerte Lieferketten (Scope-3-Emissionen), insbesondere Arzneimittel, Medizinprodukte und Einwegmaterialien (50–70% des Gesamtfußabdrucks), gefolgt vom Energieverbrauch stationärer Versorgung und der Mobilität von Patient:innen und Personal. Emissionen skalieren stark mit Behandlungsintensität, Verweildauer und Fallzahlen – weniger mit einzelnen Prozeduren.

Über-, Fehl- und Unterversorgung sind zentrale Klimatreiber.

Ein erheblicher Teil der Gesundheitsversorgung entfaltet nur geringen Nutzen oder ist potenziell sogar schädlich. Studien schätzen, dass etwa 60% der Versorgungsleistungen evidenz-basierten Empfehlungen folgen, bis zu 30% keinen wissenschaftlich nachweisbaren Nutzen haben und etwa 10% Schaden verursachen. Diese Versorgungsanteile gehen mit einem erheblichen, vermeidbaren CO₂-Fußabdruck einher. Besonders emissionsintensiv sind ungeplante Notfallaufnahmen, vermeidbare Krankenhausaufenthalte und Komplikationen oder Doppeluntersuchungen. Nicht alle Prozesse mit geringem Nutzen lassen sich vollständig vermeiden, doch es ist wichtig, sich ihres CO₂-Impacts bewusst zu sein, um Ansatzpunkte für eine effizientere und klimafreundlichere Versorgung zu identifizieren.

Versorgungspfade mit hoher Prävalenz dominieren den Emissionsfußabdruck.

Krankheitsbezogene Analysen zeigen, dass häufige chronische Erkrankungen – z.B. Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Asthma/COPD, Diabetes, onkologische Erkrankungen sowie Muskel-Skelett-Erkrankungen – einen überproportionalen Anteil der Gesamtemissionen verursachen. Der Klimaimpact entsteht dabei kumulativ entlang des gesamten Pfades, vor allem durch wiederholte Akutepisoden, lange stationäre Aufenthalte, intensive Medikation und hohe Besuchs- und Transportfrequenzen.

Technische Effizienz allein reicht nicht aus.

Maßnahmen wie energetische Sanierungen, effizientere Geräte oder erneuerbare Energie sind notwendig, aber nicht hinreichend. Die größte Hebelwirkung liegt in strukturellen Veränderungen von Versorgungsmodellen: Vermeidung vermeidbarer Hospitalisierungen, Stärkung ambulanter und präventiver Versorgung, Reduktion geringwertiger Leistungen sowie bessere Koordination an Sektorengrenzen.

Internationale Vorreiter zeigen: Dekarbonisierung ist steuerbar.

Länder wie England (NHS), die Niederlande, Dänemark oder Schottland belegen, dass ambitionierte Net-Zero-Ziele dann wirksam werden, wenn sie (a) auch Lieferketten adressieren, (b) über verbindliche Beschaffungs- und Governance-Instrumente umgesetzt werden und (c) Fortschritte transparent gemessen und berichtet werden. Besonders erfolgreich sind Strategien, die Klimaschutz explizit mit Qualitäts-, Präventions- und Versorgungszielen verknüpfen.

Rolle der Krankenkassen

Der Bericht zeigt deutlich, dass Krankenkassen eine Schlüsselrolle in der klima- und ressourcenschonenden Transformation der Gesundheitsversorgung einnehmen können. Ihr Einfluss liegt potentiell in ihrer Fähigkeit, Versorgungsvolumina, -pfade und -anreize systematisch zu steuern. Klimaschutz im Gesundheitswesen ist damit keine Zusatzaufgabe, sondern eine Konsequenz guter, evidenzbasierter und patientenzentrierter Versorgung.

Besonders wirkungsvoll sind Steuerungsansätze, die:

- vermeidbare Akut- und Notfallversorgung reduzieren,
- sektorenübergreifende Versorgungspfade stabilisieren,
- Über- und Fehlversorgung systematisch abbauen,
- therapeutisch gleichwertige, aber ressourcenschonendere Optionen fördern,
- digitale und wohnortnahe Versorgungsmodelle gezielt einsetzen,
- ökologische Kriterien mit Qualitäts- und Outcome-Zielen koppeln.

Zentrale Handlungslinien

Der Bericht leitet einen gestuften Maßnahmenpfad ab:

- **Kurzfristig:** Fokus auf Maßnahmen mit hoher Evidenz und schneller Wirkung (z. B. Reduktion klimaschädlicher Anästhesiegase, leitliniengerechte Umstellung von Inhalatoren, Vermeidung unnötiger i.v.-Therapien, Tele-Nachsorge statt Präsenz, Pack- und Set-Optimierung im OP).
- **Mittelfristig:** Integration von Klima- und Ressourcenkriterien in Verträge, Qualitätsprogramme und selektive Vergütung; Förderung integrierter Versorgung für chronische Erkrankungen; Stärkung nachhaltiger Beschaffung und zirkulärer Logistik.
- **Langfristig:** Etablierung einer systemischen Anreizarchitektur, in der Klimawirkungen Bestandteil von „Value“ sind – gemeinsam mit Qualität, Patientenergebnissen und Kosten – sowie Ausbau von Daten- und Indikatorenssystemen auf Versorgungspfad-Ebene.

Fazit

Der Klimaimpact der Gesundheitsversorgung ist groß, aber gestaltbar. Die Evidenz zeigt klar: Eine Versorgung, die Überversorgung reduziert, Prävention stärkt und sektorenübergreifend koordiniert ist, ist zugleich qualitativ besser, wirtschaftlicher und klimafreundlicher. Klimaschutz im Gesundheitswesen ist damit kein Zielkonflikt zur Versorgungsqualität, sondern ein integraler Bestandteil einer zukunftsfähigen Gesundheitsversorgung.

2. Hintergrund und Ziele

Das Gesundheitssystem steht vor großen Herausforderungen, wie dem demografischen Wandel mit einer alternden Bevölkerung, dem steigenden Anteil von Menschen mit chronischen Erkrankungen, dem anhaltenden Fachkräftemangel und der zunehmenden finanziellen Belastung durch Kostensteigerungen. Neben diesen gesellschaftlichen Herausforderungen ist der Klimawandel ebenfalls eine Herausforderung für das Gesundheitssystem, durch hohe CO₂ Emissionen auf der einen Seite und den gesundheitlichen Folgen des Klimawandels auf der anderen Seite.

Verglichen mit einem Land ist der Gesundheitssektor der fünfgrößte Emittent von CO₂ Emissionen¹. Das Gesundheitssystem steht vor der Herausforderung eine qualitativ hochwertige Versorgung zu erbringen, die gleichzeitig auch ökologisch nachhaltig ist. Der BKK Dachverband e.V. sieht sich als Akteur einer sozial-ökologischen Transformation im Gesundheitswesen und setzt sich für das Thema Klimawandel in der Gesundheitsversorgung ein. Daher hat der BKK Dachverband OptiMe-

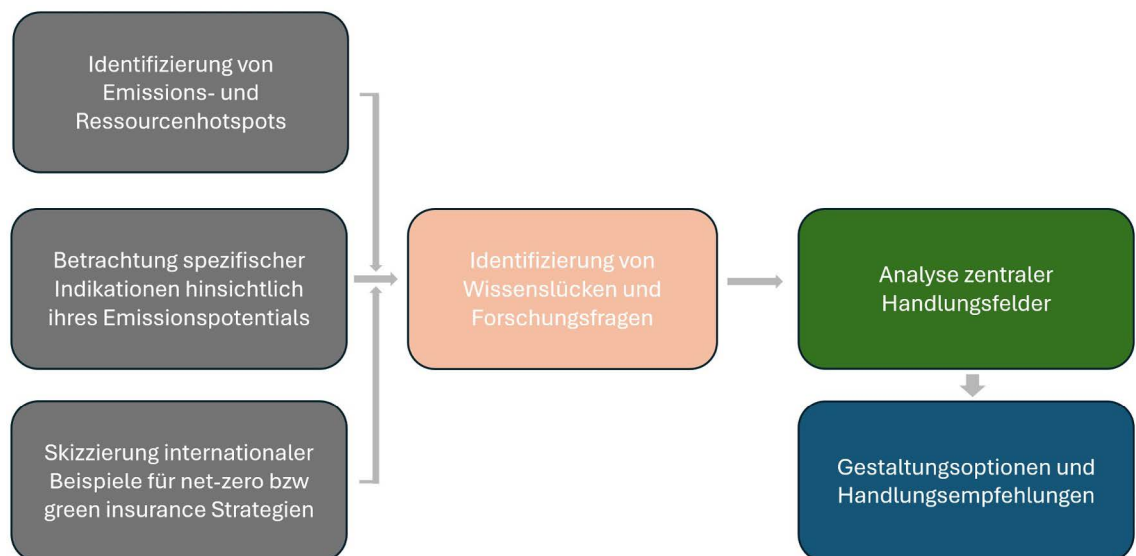
dis beauftragt einen Überblick über die Auswirkungen von den Klimaimpact zentraler Versorgungspfade im Gesundheitswesen zu erarbeiten. Ziel ist es zu identifizieren, an welchen Stellen im Versorgungsgeschehen hohe Emissionen entstehen und wo potenzielle ökologische Einsparmöglichkeiten bestehen.

Im speziellen sollen folgende Aspekte erarbeitet werden:

- Erfassung des aktuellen Wissensstands zum Thema „Klimaimpact in der Gesundheitsversorgung“ und Identifizierung von Forschungslücken.
- Identifizierung von Potenzialen einer ressourcenschonenderen und gleichzeitig patientenfreundlicheren Versorgung, inklusive möglicher Einsparungen und Qualitätsgewinne für Patient:innen.
- Ableiten von Handlungsempfehlungen für zukünftige Implementierungs- und Forschungsvorhaben.

Diese Fragestellungen stehen im Mittelpunkt der nachfolgenden Betrachtung (siehe Abbildung 1 zum Aufbau des Berichts).

Abbildung 1: Aufbau des Berichts



¹ Health Care Without Harm. Health care climate footprint report, 2019. <https://global.noharm.org/media/4370/download?inline=1>

3. Emissionsquellen im Gesundheitswesen

Die Reduktion von Treibhausgasemissionen und Ressourcenverbräuchen im Gesundheitswesen erfordert ein systematisches Verständnis darüber, wo und wie Umweltwirkungen im Versorgungsgeschehen entstehen. Dieses Kapitel widmet sich daher der Analyse von Emissions- und Ressourcenhotspots von Versorgungspfaden sowie von ausgewählten Erkrankungen über die relevanten Sektoren hinweg. Im Fokus stehen nicht nur einzelne Leistungserbringer oder Versorgungssettings, sondern insbesondere die Schnittstellen und Übergänge zwischen ambulanter, stationärer und rehabilitativer Versorgung, an denen sich Versorgungsbrüche, Mehrfachinanspruchnahmen und ineffiziente Ressourcennutzungen häufig kumulieren. Durch eine versorgungspfadbezogene Betrachtung sollen zentrale Treiber identifiziert werden, die aus medizinischen Entscheidungen, organisatorischen Strukturen und sektoralen Abgrenzungen resultieren und maßgeblich zum Klima- und Ressourcenfußabdruck beitragen. Die Ergebnisse schaffen eine evidenzbasierte Grundlage, um prioritäre Ansatzpunkte für wirksame und sektorenübergreifende Minderungsstrategien abzuleiten. Zusätzlich zu Ressourcenhotspots werden die Bestrebungen ausgewählter Länder zur Entwicklung eines klimaneutralen Gesundheitssystems vorgestellt.

3.1. Emissions- und Ressourcenhotspots im Gesundheitssystem

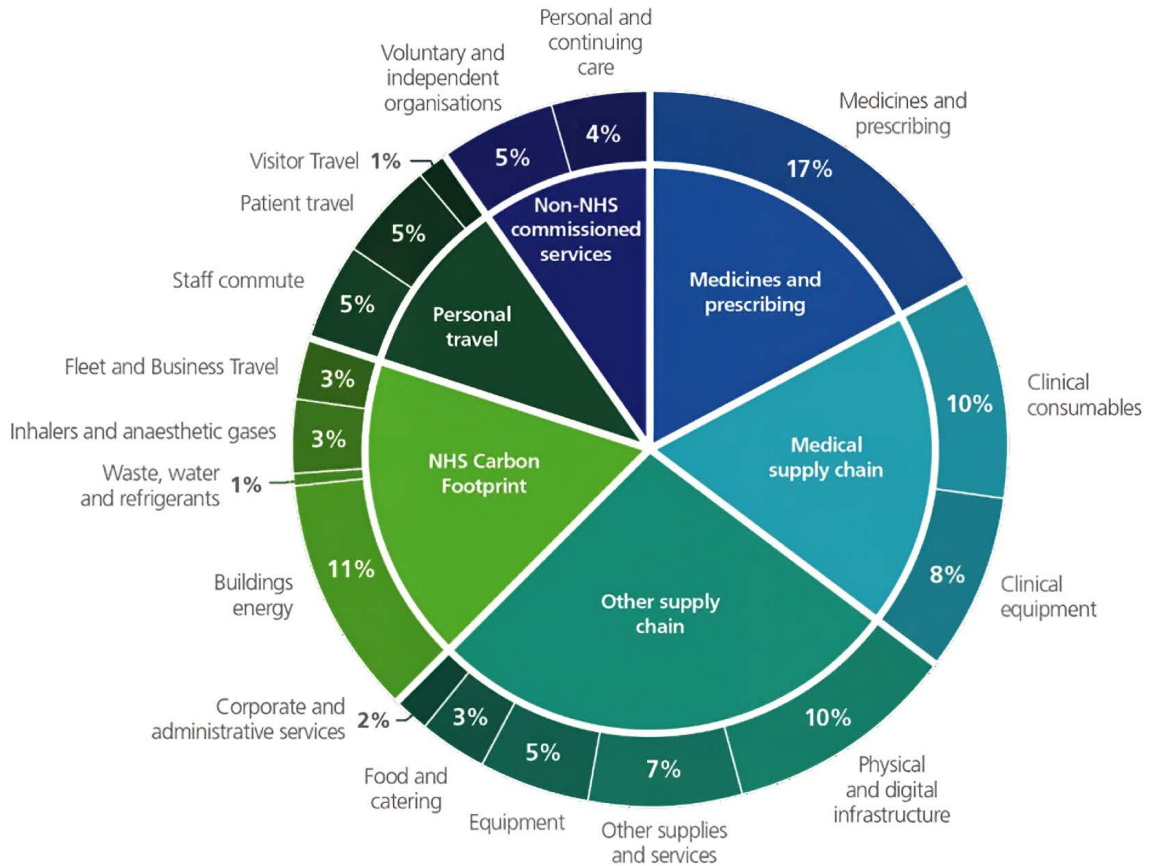
Das Gesundheitssystem zählt zu den emissionsintensivsten Dienstleistungssektoren moderner Volkswirtschaften. Internationale Studien zeigen, dass es je nach Land für etwa 4–10% der nationalen Treibhausgasemissionen verantwortlich ist.^{2,3} Der Klimaimpact entsteht dabei nicht primär durch einzelne Gebäude oder Technologien, sondern durch die Art, den Umfang und die Organisation der Gesundheitsversorgung insgesamt. Die wichtigsten Emissions- und Ressourcenhotspots lassen sich in mehrere, eng miteinander verknüpfte Bereiche gliedern. Wie eine aktuelle Analyse der Emissionsquellen im englischen NHS aufzeigt, sind es vielfältige Produkte und Prozesse, die den Klimaimpact verantworten, wie z.B. Medizinprodukte und Verschreibungsverhalten, klinische Produkte, Infrastruktur, Diagnostik und Einrichtung, Gebäude und Energie, oder An- und Abfahrt von Mitarbeitern, Patienten und Besuchern (Abbildung 1).⁴

² Pichler PP et al. International comparison of health care carbon footprints. *Environ. Res. Lett.* 2019; 14 064004

³ Eckelman, M. & Sherman, J. (2016). Environmental impacts of the U.S. health care system. *PLOS ONE*.

⁴ Davies M et al. Five years of a greener NHS: progress and forward look. 2025, <https://www.england.nhs.uk/long-read/five-years-greener-nhs-progress-forward-look/>

Abbildung 2: Emissionen im Nationalen Gesundheitssystem Englands (NHS)



Im Folgenden wird der Einfluss der wesentlichen Emissionsquellen beschrieben.

3.1.1. Beschaffungs- und Lieferketten

Es lassen sich mehrere zentrale Emissions- und Ressourcenhotspots identifizieren, die in ihrer Wirkung eng miteinander verknüpft sind und sich gegenseitig verstärken. Den mit Abstand größten Beitrag leisten die vorgelagerten Beschaffungs- und Lieferketten (Scope-3-Emissionen). Internationale Lebenszyklusanalysen zeigen, dass rund 50–70 % der gesamten Treibhausgasemissionen des Gesundheitswesens

in diesem Bereich entstehen. Besonders relevant sind dabei Pharmazeutika, Medizinprodukte und -geräte, Einwegmaterialien und Verbrauchsgüter sowie Lebensmittel und ausgelagerte Dienstleistungen. Emissionsintensive Prozesse wie die chemische Wirkstoffproduktion, globale Logistikstrukturen und der hohe Einsatz fossiler Energieträger in der chemischen Industrie prägen diesen Hotspot. Diese Emissionen werden nicht primär durch einzelne Einrichtungen, sondern durch Leistungsinhalte, Verwaltungspraktiken und Behandlungsvolumina gesteuert.⁵

⁵ Liang J, Wu R, Bi P et al. Carbon footprint of the Chinese healthcare service: An environmentally extended input-output analysis. PLOS Medicine, September 2025, DOI: 10.1371/journal.pmed.1004738

3.1.2. Energieverbrauch in stationären Einrichtungen

Ein weiterer bedeutender Hotspot ist der Energieverbrauch in stationären Einrichtungen, insbesondere in Krankenhäusern. Diese zählen aufgrund ihres durchgehenden 24/7-Betriebs, hoher Anforderungen an Hygiene, Lüftung und Klimatisierung sowie energieintensiver Bereiche wie Operationssäle, Intensivstationen, Dialyse und bildgebender Diagnostik zu den energieintensivsten Gebäuden des öffentlichen Sektors.⁶ Versorgungspfadbasierte Analysen zeigen, dass der kumulative Klimaimpact weniger durch einzelne Hochtechnologien als vielmehr durch Normalstationen mit langen Liegezeiten geprägt ist. Der Energie- und Emissionsbeitrag skaliert hier stark mit der Verweildauer und der Intensität der Behandlung. Dies verdeutlicht, dass technische Effizienzmaßnahmen allein nicht ausreichen, sondern grundsätzliche Fragen zur Notwendigkeit stationärer Behandlung, zur Dauer von Aufenthalten und zu alternativen Versorgungsmodellen in den Blick genommen werden müssen.

3.1.3. Behandlungsprozesse im Krankenhaus

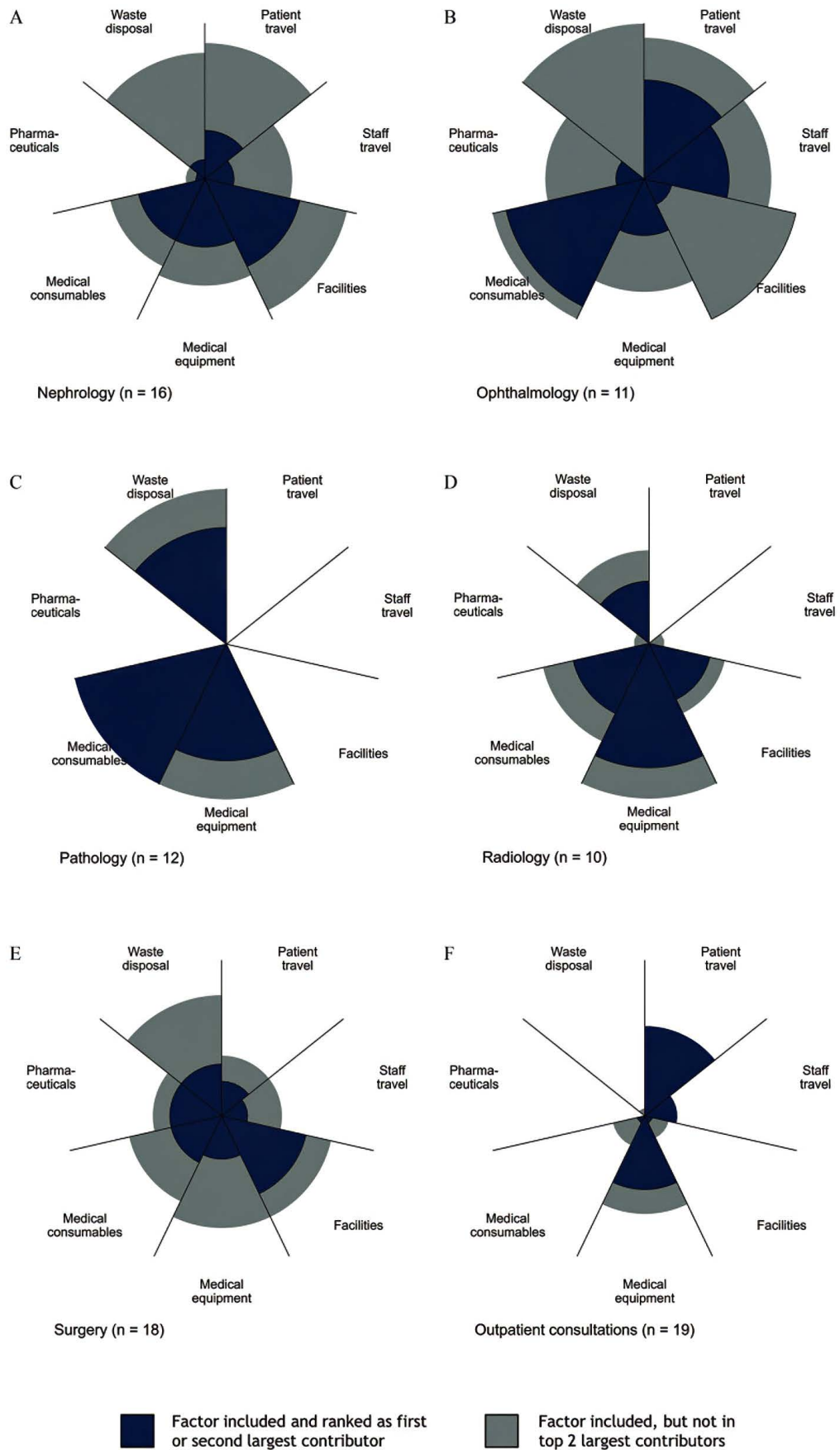
Kouwenberg et al. zeigen, dass der Klimaimpact von Krankenhäusern stark zwischen Ländern, Einrichtungen und Fachgebieten variiert, jedoch konsistent durch Versorgungspfade und Leistungsvolumina geprägt ist.⁷ Vorgelegte Lieferketten (insbesondere Medikamente, Medizinprodukte und Verbrauchsmaterialien) stellen den größten Emissionsanteil dar, gefolgt vom Energieverbrauch stationärer Einrichtungen und der Mobilität von Patient:innen und Personal.

Auf Ebene einzelner Versorgungspfade weisen insbesondere akutstationäre Behandlungen, Notfallaufnahmen, intensivmedizinische Leistungen sowie lange Liegezeiten einen hohen kumulativen Emissionsbeitrag auf. Krankheitsbezogene Analysen verdeutlichen zudem, dass häufige und chronische Erkrankungen mit hohen Fallzahlen – etwa Herz-Kreislauf-Erkrankungen, onkologische Erkrankungen und orthopädische Eingriffe – einen besonders großen Anteil am Gesamtemissionsvolumen haben und sich die Emissionen durchaus zwischen Abteilungen im Krankenhaus unterscheiden. Gleichzeitig zeigt die Analyse, dass auch ambulante Aktivitäten einen substanziellen Anteil am Gesamtemissionsvolumen haben, insbesondere in Fachgebieten mit häufigen Kontroll- und Folgekontakten (Abbildung 3).

6 Lashae, F et al. (2019/2020). Quantifying hospital services by carbon footprint. Resources, Conservation & Recycling

7 Kouwenberg LHJA, Cohen ES, Hehenkamp WJK et al. The Carbon Footprint of Hospital Services and Care Pathways: A State-of-the-Science Review. Environ Health Perspect. 2024 Dec;132(12):126002. doi: 10.1289/EHP14754.

Abbildung 3: Anteil der Krankenhausleistungen und Emissionsbeitrag aus den Versorgungspfaden



Fachspezifische Emissionsprofile stellen eine wichtige Grundlage für gezielte Klimaschutzstrategien im Gesundheitswesen dar. Insbesondere Maßnahmen zur Reduktion vermeidbarer Notfälle, zur Stärkung ambulanter und präventiver Versorgung sowie zur Optimierung sektorenübergreifender Übergänge werden als zentrale Hebel identifiziert, um Emissionen wirksam und ohne Qualitätsverlust zu senken.⁸ Eine aktuelle Analyse aus China zeigt, dass innerhalb der Krankenhausabteilungen die Innere Medizin den größten CO₂-Fußabdruck aufweist und im Jahr 2018 47,66 MtCO_{2e} verursachte, was 26% der gesamten Emissionen entspricht. Nach Krankenhausstufen entfiel der größte Anteil der Emissionen auf Krankenhäuser der Maximalversorgung (tertiäre Krankenhäuser), die mit 126,50 MtCO_{2e} rund 70% der Gesamtemissionen verursachten. Bei der Betrachtung nach Krankheitskategorien wiesen Erkrankungen des Kreislaufsystems den höchsten Klimaimpact auf (12,68 MtCO_{2e}; 19%), während innerhalb der Krankheitsuntergruppen bösartige Neubildungen den größten Beitrag leisteten (5,52 MtCO_{2e}; 8%).⁹

3.1.4. Versorgungsmodelle und Über-, Fehl- und Unterversorgung

Eng mit den Behandlungsprozessen verbunden ist die Frage der Über-, Fehl- und Unterversorgung. Medizinisch nicht indizierte oder nur gering wirksame Leistungen verursachen unnötigen Energie- und Materialeinsatz, zusätzliche Transporte sowie erhöhte Abfallmengen. Die gesundheitswissenschaftliche Forschung der vergangenen Jahrzehnte hat dargelegt, dass ein erheblicher Anteil der Gesundheitsversorgung mit Schäden für Patient:innen verbunden ist oder keinen messbaren Nutzen erbringt.¹⁰ So führen bis zu eine

von zehn Krankenhausaufnahmen zu patientenrelevantem Schaden, wobei rund die Hälfte dieser Ereignisse als vermeidbar gilt.¹¹ Zudem werden zahlreiche medizinische Leistungen routinemäßig erbracht, ohne zur Verbesserung der Versorgung beizutragen (etwa die Durchführung einer CT-Untersuchung bei unspezifischen Rückenschmerzen). Die Initiative Choosing Wisely hat auf Basis von Leitlinienanalysen und klinischen Routinen gemeinsam mit über 80 medizinischen Fachgesellschaften mehr als 700 Tests und Behandlungen identifiziert, die als überversorgt oder unnötig einzustufen sind.¹²

Aufbauend auf der Arbeit von Braithwaite et al. (2022), die schätzen, dass lediglich rund 60% der Gesundheitsversorgung wirksam, 10% potenziell schädlich und 30% von geringem Wert sind¹³, quantifizieren Barrett et al. (2021) den mit diesen Versorgungsanteilen verbundenen CO₂-Fußabdruck für Australien (Abbildung 4).¹⁴ Die Ergebnisse machen deutlich, dass rein technische Maßnahmen wie die energetische Sanierung von Einrichtungen allein keine hinreichende Antwort auf die Klimakrise im Gesundheitswesen darstellen. Vielmehr ist ein grundlegenderer Ansatz erforderlich, der auf die Reduktion schädlicher und geringwertiger Versorgung sowie auf eine systematische Neuausrichtung von Versorgungsmodellen und Entscheidungslogiken abzielt.

Insbesondere an Übergängen zwischen ambulanter, stationärer, rehabilitativer und häuslicher Versorgung entstehen wiederholt vermeidbare Emissionen – etwa durch Doppeluntersuchungen, unnötige Transporte, verlängerte Verweildauern oder unzureichend abgestimmte Therapien. Emissionen sind weiterhin nicht zwingend von Hochtechnologie, sondern auch von simplen Kriterien, wie der Verweildauer, abhängig.¹⁵

8 Begum H, Gray WK, Simpson RM et al. Carbon emissions from clinical activities by speciality in secondary and tertiary care in England: an exploratory cross-sectional analysis of routine administrative data. *The Lancet Regional Health - Europe*, Volume 54, July 2025, 101333, <https://doi.org/10.1016/j.lanep.2025.101333>

9 Liang J, Wu R, Bi P et al. Carbon footprint of the Chinese healthcare service: An environmentally extended input-output analysis. *PLOS Medicine*, September 2025, DOI: 10.1371/journal.pmed.1004738

10 OECD. Tackling wasteful spending on health. 2017, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264266414-en>.

11 Bates DW, Levine DM, Salmasian H. The Safety of Inpatient Health Care. *N Engl J Med* 2023;388:142-153, DOI: 10.1056/NEJMsa2206117

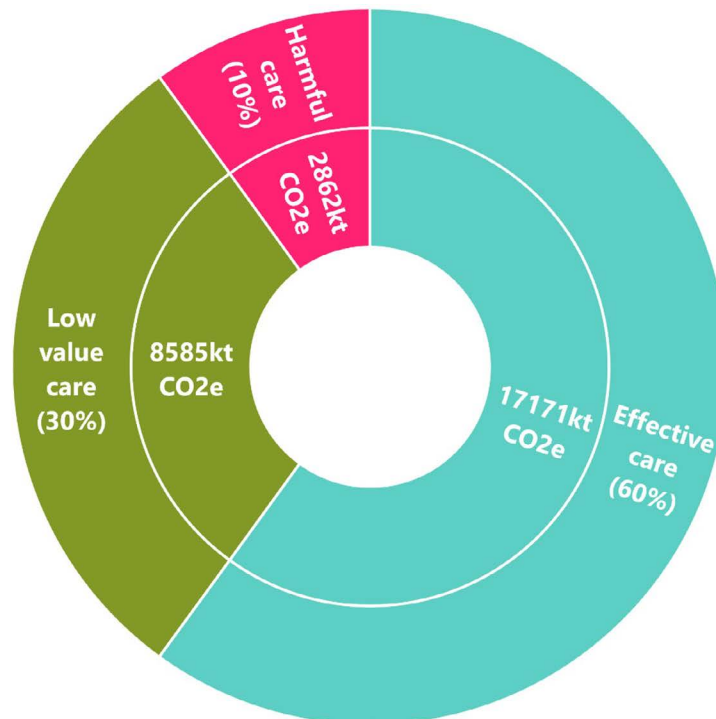
12 Choosing Wisely. <https://www.choosingwisely.org/>

13 Braithwaite, J., Glasziou, P. & Westbrook, J. The three numbers you need to know about healthcare: the 60-30-10 Challenge. *BMC Med* 18, 102 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12916-020-01563-4>

14 Barratt AL, Bell KJ, Charlesworth K, McGain F. High value health care is low carbon health care. *Med J Aust*. 2022 Feb 7;216(2):67-68. doi: 10.5694/mja2.51331. Epub 2021 Nov 14. PMID: 34699070; PMCID: PMC9299213.

15 Zhang X, Albrecht K, Herget-Rosenthal S et al. Carbon footprinting for hospital care pathways based on routine diagnosis-related group (DRG) accounting data in Germany: An application to acute decompensated heart failure. *Journal of Industrial Ecology*, 2022: Pages 1528-1542

Abbildung 4: CO₂e-Emissionen im Zusammenhang mit schädlicher, geringwertiger und wirksamer Versorgung



Die Notfallversorgung kann auch hier aufgeführt werden, nicht weil die Notaufnahme allein den größten Fußabdruck hätte, sondern weil sie oft Ausdruck eines „Versorgungsbruchs“ in der ambulanten Steuerung ist. Wenn Patient:innen zwischen hausärztlicher Versorgung, fachärztlichen Terminen und Klinik nicht gut koordiniert sind, steigen ZNA-Besuche, Bildgebung, Labor, kurzfristige Aufnahmen und Verlegungen.

3.1.5. Mobilität und Transport

Auch Mobilität und Transport stellen einen relevanten Emissionshotspot dar. Emissionsrelevant sind insbesondere häufige ambulante Arztkontakte bei chronischen Erkrankungen, stark zentralisierte Versorgungsstrukturen sowie Rettungs- und Krankentransporte. Studien zeigen, dass dezentrale, wohnortnahe und digitale Versorgungsmodelle – etwa Telemedizin, Homecare-Konzepte oder virtuelle Stationen – erhebliche Emissionsreduktionen ermöglichen können, vor allem durch vermiedene Wege von Patient:innen und Personal (siehe Abschnitt 5.3). In praktisch allen untersuchten Settings überwiegen die Emissionsvorteile durch vermiedene Wege die zusätzlichen Emissionen der IT-Nutzung. Das betrifft

nicht nur „einzelne Video-Sprechstunden“, sondern ganze Pfadlogiken – etwa die Nachsorge nach stationären Aufenthalten, das Monitoring chronischer Erkrankungen, intersektorale Tumorboards oder die Betreuung ländlicher Regionen. Telemedizin ist am klimawirksamsten, wenn sie physische Kontakte ersetzt (statt sie zu ergänzen) und wenn sie organisatorisch so eingebettet ist, dass sie unnötige Eskalationen verhindert. Gerade Übergänge (Entlassungsgespräch, frühe Nachkontrolle, Medikationsabgleich) sind dafür prädestiniert

3.1.6. Abfall-, Wasser- und Ressourcenverbräuche

Abfall-, Wasser- und Ressourcenverbräuche sind als weiterer Hotspot zu berücksichtigen. Gesundheitsversorgung ist in hohem Maße materialintensiv und erzeugt große Mengen an Einwegkunststoffen, infektiösem Abfall sowie einen hohen Wasserverbrauch, etwa durch Dialyse oder Sterilisationsprozesse. Obwohl der direkte Emissionsanteil dieses Bereichs im Vergleich zu Lieferketten und Energieverbrauch geringer ist, machen ressourcenineffiziente Einwegpraktiken strukturelle Fehlansätze sichtbar.

3.2. Emissionen bei spezifischen Erkrankungsbildern

Die Analyse der Emissionsquellen verdeutlicht, dass der Klimaimpact des Gesundheitssystems aus einer Vielzahl unterschiedlicher Produkte und Prozesse resultiert – von Medizinprodukten und Verschreibungsverhalten über klinische Abläufe, Diagnostik und Infrastruktur bis hin zu Gebäuden, Energieverbrauch sowie der Mobilität von Mitarbeitenden, Patient:innen und Besuchenden. Diese Breite und Heterogenität der Emissionsquellen machen deutlich, dass pauschale oder rein sektorale Betrachtungen nur begrenzte Aussagekraft besitzen. Um die klimarelevanten Treiber gezielt zu identifizieren und wirksame Minderungsstrategien abzuleiten, ist daher eine vertiefte Analyse auf Ebene einzelner Krankheitsbilder erforderlich. Krankheitsbezogene Betrachtungen ermöglichen es, die spezifischen Versorgungspfade, Entscheidungslogiken und Ressourceneinsätze sichtbar zu machen, die den Klima- und Ressourcenfußabdruck maßgeblich prägen. Auf dieser Grundlage lassen sich prioritäre Ansatzpunkte identifizieren, bei denen sich Klimaschutz, Versorgungsqualität und Wirtschaftlichkeit besonders wirksam miteinander verbinden lassen.

3.2.1. Herz-Kreislauf-Erkrankungen

Herz-Kreislauf-Erkrankungen zählen zu den klimarelevantesten Krankheitsgruppen im Gesundheitssystem, nicht primär wegen einzelner Hochtechnologie-Interventionen, sondern aufgrund ihrer hohen Prävalenz, chronischen Verlaufsformen und häufigen Übergängen zwischen ambulanter, stationärer und rehabilitativer Versorgung. Der Klimaimpact entsteht dabei kumulativ entlang des gesamten Versorgungspfad: von präventiv vermeidbaren Akutereignissen über stationäre Aufenthalte mit teils langen Liegezeiten bis hin zu Wiedereinweisungen infolge unzureichend koordinierter Nachsorge. Aus Emissionssicht besonders relevant sind stationäre Episoden, da sie mit

hohem Energieverbrauch (Normalstationen, Diagnostik, teilweise Intensivversorgung), umfangreicher Medikamenten- und Materialnutzung sowie zusätzlichen Transporten verbunden sind.

Eine aktuelle systematische Übersichtsarbeit identifiziert zahlreiche Möglichkeiten zur Verringerung der Umweltbelastung bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen: Die CO₂-Emissionen können reduziert werden, indem Echokardiographie als erste Herzuntersuchung gewählt wird, bevor CT oder CMR in Betracht gezogen werden, sowie durch Fernüberwachung von Herzschrittmachern und Telekonsultationen, wenn dies klinisch angemessen ist.¹⁶ Mehrere Maßnahmen können helfen, Abfall im Gesundheitswesen zu reduzieren. Ein Beispiel ist das Ausspülen der Herz-Lungen-Maschine nach einer Herzoperation, sodass verbleibendes Blut aufgefangen und weiterverwendet werden kann, statt es zu entsorgen. Solche Maßnahmen haben zusätzliche Vorteile: Sie senken Kosten, verbessern die Versorgung – etwa weil aufbereitetes Eigenblut für die weitere Behandlung zur Verfügung steht – und bringen auch soziale Vorteile, zum Beispiel weil Patientinnen und Patienten sowie Angehörige weniger Zeit im Krankenhaus oder fern von Arbeit und Alltag verbringen müssen.

Ein zentrales Klimarisiko liegt weiterhin an den Sektorenübergängen. Fehlender Medikationsabgleich, verspätete ambulante Anschlussversorgung oder unklare Verantwortlichkeiten nach Entlassung erhöhen das Risiko von Dekompensationen und Wiederaufnahmen – mit erheblichem Zusatzaufwand an Energie, Personal und Material. Ein strukturiertes Entlassmanagement, frühe Nachkontrollen und telemedizinisches Monitoring können nicht nur Mortalität und Lebensqualität verbessern, sondern auch vermeidbare stationäre Leistungen reduzieren.^{17,18}

16 Barratt AL, Li Y, Gooroovadoo I, Todd A, Dou Y, McAlister S, et al. Environmental impact of cardiovascular healthcare. *Open Heart*. 2023;10:e002279. <https://doi.org/10.1136/openhrt-2023-002279>

17 Sadeer Al-Kindi, Robert D Brook, Sanjay Rajagopalan. Green cardiovascular care: a call for sustainable transformation of cardiovascular practices, *European Heart Journal*, Volume 45, Issue 10, 7 March 2024, Pages 744–747. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad844>

18 Bawa, D, Ahmed, A, Darden, D. et al. Impact of Remote Cardiac Monitoring on Greenhouse Gas Emissions: Global Cardiovascular Carbon Footprint Project. *JACC Adv*. 2023 May, 2 (3). <https://doi.org/10.1016/j.jacadv.2023.100286>

3.2.2. Asthma und COPD

Asthma und COPD stellen aus Klimasicht einen Sonderfall dar, da ein erheblicher Teil des Emissionsfußabdrucks direkt auf eine spezifische Therapieentscheidung zurückzuführen ist: die Wahl des Inhalationssystems. Dosieraerosole mit Treibgasen verursachen – bei ansonsten vergleichbarer klinischer Wirksamkeit – um ein Vielfaches höhere Treibhausgasemissionen als treibgasfreie Alternativen wie Pulver- oder Soft-Mist-Inhalatoren. Die heute am häufigsten verwendeten treibmittelhaltigen Dosieraerosole (pMDIs) haben einen CO₂-Fußabdruck, der in der Regel 20- bis 40-mal höher ist als der von treibmittelfreien Trockenpulverinhalatoren (DPIs) und Soft-Mist-Inhalatoren. Damit ist der Inhalator einer der wenigen klar identifizierbaren High-Impact-Hebel auf Produktebene.¹⁹

Gleichzeitig darf dieser Fokus nicht isoliert betrachtet werden. Der größte klima- und versorgungsrelevante Schaden entsteht bei Asthma und COPD durch Exazerbationen, die zu Notaufnahmen, stationären Aufenthalten und teilweise Intensivbehandlung führen. Diese Akutpfade sind emissionsintensiv, material- und energieaufwendig und gehen mit hoher Belastung für Patient:innen einher. Exazerbationen sind jedoch häufig Ausdruck suboptimaler Langzeitkontrolle, mangelhafter Adhärenz oder fehlender Schulung.

Der Übergang zwischen ambulanter Dauertherapie und akuter Versorgung ist daher der entscheidende Punkt. Eine leitliniengerechte Controller-Therapie, regelmäßige Überprüfung der Inhalationstechnik und strukturierte Disease-Management-Programme senken nachweislich die Exazerbationsrate. Aus Klimaperspektive bedeutet dies: jede vermiedene Akutepisode spart ein Vielfaches der Emissionen, die durch eine optimierte Dauertherapie entstehen könnten.

Ein gezieltes, patientenzentriertes Umstellen von treibgasintensiven Inhalatoren auf klimafreundlichere Alternativen ist dann besonders wirksam, wenn es eingebettet ist in Schulung, gemeinsame Entscheidungsfindung und klare Qualitätskriterien.

3.2.3. Diabetes mellitus Typ 1 und Typ 2

Der Klimaimpact der Diabetesversorgung entsteht weniger durch einzelne Ereignisse als durch die langjährige, kontinuierliche Nutzung von Ressourcen. Medikamente, Insulin, Pens, Sensoren, Teststreifen, regelmäßige Arztkontakte sowie die Behandlung diabetischer Folgeerkrankungen erzeugen über Jahre hinweg einen erheblichen kumulativen Fußabdruck. Besonders emissionsintensiv werden Diabetespfade dort, wo Komplikationen auftreten und wiederholt stationäre Versorgung erforderlich wird. Ein zentrales Klimarisiko liegt in den Schnittstellen zwischen ambulanter Langzeitbetreuung und akuter stationärer Versorgung. Hypoglykämien, ketoazidotische Entgleisungen oder diabetische Fußkomplikationen führen häufig zu Notaufnahmen und längeren Aufenthalten. Viele dieser Ereignisse sind durch bessere Stoffwechseleinstellung, strukturierte Schulungsprogramme und frühzeitige Intervention vermeidbar.²⁰

Technologische Innovationen wie kontinuierliche Glukosemessung können zur Qualitätsverbesserung beitragen, sind aber selbst ressourcenintensiv. Klimarelevant ist daher nicht die Technologie an sich, sondern ihre zielgerichtete Indikation. Dort, wo sie schwere Hypoglykämien verhindert und Hospitalisierungen reduziert, ist der Netto-Klimaeffekt positiv; dort, wo sie ohne klaren Zusatznutzen eingesetzt wird, steigt der Ressourcenverbrauch ohne entsprechenden Gegenwert. Eine Lebenszyklusanalyse legt z.B. nahe, dass die einjährige Insulinverwendung bei einer Person mit

19 Pernigotti D, Stonham C, Panigone S, Sandri F, Ferri R, Unal Y, et al. Reducing carbon footprint of inhalers: analysis of climate and clinical implications of different scenarios in five European countries. *BMJ Open Respiratory Research*. 2021;8:e001071. <https://doi.org/10.1136/bmjresp-2021-001071>
20 Pegg M, Bray BD, Chan MS, de Laguiche E, Tyagi A, Di Brino E. Environmental sustainability in diabetes: improving the quality of diabetes management through HTA and system-level change? *International Journal of Technology Assessment in Health Care*. 2025;41(1):e84. doi:10.1017/S0266462325103206

Typ-2-Diabetes zur Produktion von 34,8kg Kohlendioxidäquivalent (CO_{2e}) führt, was einer Fahrt von 1250km in einem Standard-Benzinauto entspricht. Bei der hohen Diabetes Prävalenz und Nutzung medizinischer Pens entstehen somit relevante Emissionen (im Vereinigten Königreich werden jedes Jahr rund 23 Millionen medizinische Pens verbrannt oder auf Deponien entsorgt).²¹

3.2.4. Neubildungen (Onkologische Erkrankungen)

Onkologische Versorgungspfade gehören zu den komplexesten und klimaintensivsten im Gesundheitssystem. Sie kombinieren hochspezialisierte Medikamente mit aufwendiger Diagnostik, häufigen Sektorwechseln und teils langen Behandlungszeiträumen. Besonders emissionsrelevant sind dabei nicht nur die Therapien selbst, sondern die hohe Besuchs- und Transportfrequenz, etwa bei fraktionierter Strahlentherapie oder ambulanter Chemotherapie.²²

Eine multizentrische Studie in den USA schätzte z.B. die durchschnittlichen Treibhausgasemissionen in der Radiologie. Für einen Standard-EBRT-Kurs mit 25 Fraktionen betragen die Emissionen 4310kg CO_{2e}. Dabei machte der Energieverbrauch für Transport und Gebäude 25,73% (1110kg CO_{2e}) bzw. 73,95% (3190kg CO_{2e}) der gesamten Treibhausgasemissionen aus, während die Versorgung nur 0,32% (14kg CO_{2e}) beitrug. Auch in den anderen Kategorien der Umweltbelastung stammte der größte Teil der Umweltbelastung aus dem Transport der Patienten und dem Energieverbrauch innerhalb der Einrichtungen, während die verwendeten Verbrauchsmaterialien nur einen geringen Beitrag zur Umweltbelastung leisteten.

In Deutschland ergab eine Studie über 4198 Brustkrebspatientinnen, dass Patientinnen durchschnittlich für jede Bestrahlungsfraction 37,2km zurücklegten, dies führte zu geschätzten Gesamt-CO₂-Emissionen von 6,2kg pro Besuch, was bei 25 Besuchen (Planung, Behandlung und Nachsorge) Gesamtemissionen von 156,2kg entsprach.²³ Zunehmend belegt ist, dass bei bestimmten Indikationen verkürzte oder hypofraktionierte Therapieschemata medizinisch gleichwertig sind. Sie reduzieren nicht nur die Belastung für Patient:innen, sondern auch die Anzahl der notwendigen Anfahrten und damit verbundene Emissionen. Der Klimateffekt ergibt sich dabei primär über die Mobilität, weniger über den technischen Betrieb der Geräte selbst.

3.2.5. Muskel-Skelett-Erkrankungen

Muskel-Skelett-Erkrankungen sind sehr häufig und verursachen einen erheblichen Anteil der Gesundheitsausgaben und der Emissionen. Klimarelevant sind vor allem Bildgebungskaskaden, langfristige Medikamentennutzung und operative Eingriffe mit anschließender Rehabilitation. Gleichzeitig ist die Evidenzlage eindeutig: Ein großer Teil der Versorgung, insbesondere bei unspezifischen Rückenschmerzen, kann effektiv nicht-operativ erfolgen. Der größte Emissionshebel liegt an der Schwelle zwischen ambulanter konservativer Therapie und invasiver Diagnostik bzw. Operation. Frühzeitige Bildgebung ohne Red-Flags führt häufig zu therapeutischen Eskalationen, die weder die Prognose verbessern noch die Lebensqualität nachhaltig erhöhen, aber erhebliche Ressourcen binden. Leitlinienbasierte Zurückhaltung bei Diagnostik ist damit sowohl qualitäts- als auch klimasichernd.

21 Chowdhury TA et al. Sustainable practice: Insulin therapy, *BMJ* 2024;387:e079425, doi: <https://doi.org/10.1136/bmj-2024-079425>

22 Lichter, Katie E et al. Quantification of the environmental impact of radiotherapy and associated secondary human health effects: a multi-institutional retrospective analysis and simulation. *The Lancet Oncology*, Volume 25, Issue 6, 790 - 801

23 Bedir, A., Grohmann, M., Schäfer, S. et al. Sustainability in radiation oncology: opportunities for enhancing patient care and reducing CO₂ emissions in breast cancer radiotherapy at selected German centers. *Strahlenther Onkol* 201, 846–853 (2025). <https://doi.org/10.1007/s00066-024-02303-w>

Spezifische Emissionswerte für die Behandlung von Muskel-Skelett-Erkrankungen sind nur begrenzt verfügbar. Viele Arbeiten messen Abfallmengen oder beschreiben Reduktionspotenziale, aber nur wenige quantifizieren systematisch THG-Emissionen (CO₂-Footprints) in verschiedenen Versorgungspfaden. Die meisten verfügbaren quantitativen Studien beschränken sich auf orthopädische Operationen (z. B. Gelenkersatz) und nicht auf konservative MSK-Behandlung wie Physiotherapie oder medikamentöse Versorgung.²⁴

Ein Lebenszyklusanalyse bei der Knieersatz-Operation in Australien ergab z.B., dass der durchschnittliche CO₂-Fußabdruck 131,7kg CO₂e betrug; an erster Stelle stand die Chirurgie (80%), gefolgt von geringeren Beiträgen aus der Anästhesie (11%) und der Technik (9%). Die wichtigsten chirurgischen Quellen für Treibhausgasemissionen waren: Energieverbrauch für die Desinfektion und Dampfsterilisation wiederverwendbarer Geräte (43,4kg CO₂e), Einweggeräte (34,2kg CO₂e, 26%), wobei allein Polypropylen 13,7kg CO₂e und die Knieprothese 19,6kg CO₂e ausmachten. Bei den Energiekosten waren die Hauptverursacher: Gasheizung (6,7kg CO₂e) sowie Heizung, Kühlung und Ventilatoren (4kg CO₂e). Schlussfolgerungen.²⁵

Der CO₂-Fußabdruck einer Knie-Totalendoprothese betrug somit einer Fahrt von 914km in einem australischen Standardauto des Jahres 2022. Solche Daten bieten eine Orientierungshilfe für die Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks einer Operation durch den umsichtigen Einsatz von Geräten, eine effizientere Dampfsterilisation mit erneuerbarer Elektrizität und die Reduzierung von Einwegabfällen.

3.2.6. Chronische/fortgeschrittene Nierenerkrankungen

Chronische Nierenerkrankungen und insbesondere die Dialyse stellen aus Klimasicht ebenfalls einen Sonderfall dar, da der Emissions- und Ressourcenfußabdruck stark durch die Wahl des Versorgungssettings geprägt wird. Dialyse ist energie- und wasserintensiv, erfordert große Mengen an Verbrauchsmaterialien und verursacht bei zentrumsbasierter Hämodialyse zusätzlich erhebliche Transportemissionen. Lebenszyklusanalysen zeigen, dass sich die Klimabilanz je nach Dialysemodalität deutlich unterscheidet, etwa zwischen In-Center-Hämodialyse, Heimdialyseverfahren und Peritonealdialyse. In einem aktuellen Vergleich von Dialyse Modalitäten hatte die Hämodialyse im Zentrum mit 4.814kg CO₂e die höchsten jährlichen CO₂-Emissionen pro Patient. Im Vergleich dazu waren die Emissionen bei der Hämodialyse zu Hause um 41% niedriger (2.938kg CO₂e), bei der automatisierten Peritonealdialyse um 29% niedriger (3.339kg CO₂e) und bei der kontinuierlichen ambulanten Peritonealdialyse um 59% niedriger (1.969kg CO₂e). Bei allen vier Modalitäten waren Verbrauchsmaterialien die größte Emissionsquelle. Bei der Hämodialyse im Zentrum waren die Fahrten der Patienten der Hauptfaktor für den höheren CO₂-Fußabdruck im Vergleich zu den Dialysoptionen zu Hause.²⁶

Gleichzeitig greift ein rein technischer oder modalitätsbezogener Vergleich zu kurz. Der größte klima- und versorgungsrelevante Effekt entsteht nicht durch einzelne Dialysesitzungen, sondern durch den Versorgungspfad, der in die Dialyse führt. Patient:innen, die nach Progression der chronischen Nierenerkrankung

24 McKenzie BJ, Haas R, Ferreira GE, Maher CG, Buchbinder R (2022) The environmental impact of health care for musculoskeletal conditions: A scoping review. PLoS ONE 17(11): e0276685. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276685>

25 McGain F et al. (2024) The carbon footprint of total knee replacements. Australian Health Review doi:10.1071/AH24154

26 Barraclough KA; Talbot B, Knight J et al. Carbon Emissions From Different Dialysis Modalities: A Life Cycle Assessment. American Journal of Kidney Diseases, Vol 86, Issue 4, October 2025, Pages 465-474.e1, <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2025.04.019>

kung ohne strukturierte Vorbereitung in die Dialyse einmünden, landen häufig in einem hochfrequenten, zentrumsgebundenen Versorgungsmodell mit dreimal wöchentlichen Fahrten, erhöhter Komplikationsrate und zusätzlicher Akutversorgung. Dieser „Shuttle-Pfad“ ist nicht nur belastend für die Betroffenen, sondern auch in der Summe besonders emissions- und ressourcenintensiv. Der entscheidende Hebel liegt daher im Übergang von der fortgeschrittenen Erkrankung zur Nierenersatztherapie. Eine frühzeitige nephrologische Betreuung, strukturierte Aufklärung zu Dialysoptionen, der rechtzeitige Aufbau von Heimdialysekompetenz sowie die konsequente Prüfung von Transplantationspfaden reduzieren nachweislich Akutkomplikationen, Transportaufwand und Versorgungsintensität. Aus Klimaperspektive bedeutet dies: Jede vermiedene ungeplante Dialyseeinleitung und jede erfolgreich etablierte Heimmodalität spart ein Vielfaches der Emissionen, die durch marginale Effizienzgewinne im bestehenden In-Center-Betrieb erreichbar wären.

Studien zeigen, dass eine Reihe umfassender und wirkungsvoller grüner Initiativen in verschiedenen Bereichen der Nierenversorgung zu signifikanten Reduktionen der CO₂ Emissionen führen können. Zum Beispiel führte der Einsatz eines Maßnahmenpakets in einer 40-Betten Einheit in einem Krankenhaus in England (unter Berücksichtigung von E-Konsultationen und virtuellen Kliniken, Online-Vorbereitung von Hämodialysegeräten, Modernisierung von Wasseraufbereitungssystemen, zentralisierte Zufuhr von Dialysat-Säure, Verwendung von 1:44-Säurekonzentrat, Einsatz der Dialysat-Autoflow-Funktion, Installation energieeffizienter Beleuchtung sowie inkrementelle und dekrementelle Dialyseverfahren) zu kumulierten geschätzten Einsparungen an Treibhausgasen von über 1.000 Tonnen CO₂e, sowie zu finanziellen Einsparungen von 2,8 Millionen Pfund Sterling. Die Reduktion von CO₂ Emissionen kann also auch zu direkten Kosteneinsparungen führen.²⁷

27 Choo, S.M.Y., Murcutt, G., Steinbach, I. et al. Sustainable health care in a renal centre - carbon saving is coupled with cost-efficiency. *J Nephrol* 38, 2321–2331 (2025). <https://doi.org/10.1007/s40620-025-02354-x>

3.3. Gesundheitssysteme auf dem Weg zu Net Zero

3.3.1. Internationale Vorreitermodelle

Der Health Care Climate Footprint Report (2019) von Health Care Without Harm zeigte erstmals umfassend, dass das globale Gesundheitssystem für rund 4,4 % der weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich ist.²⁸ In der Studie lag der Pro-Kopf-CO₂-Ausstoß des Gesundheitswesens in Deutschland deutlich über dem weltweiten Durchschnitt (der Pro-Kopf-Ausstoß betrug mit 0,71 Tonnen CO₂ 2,5 Mal so hoch wie der weltweite Durchschnitt von 0,28 Tonnen und übersteigt auch den der EU-Durchschnitt (0,49 Tonnen) deutlich). Der Anteil der deutschen Gesundheitswirtschaft an der nationalen Gesamtemission lag bei 5,2 Prozent – in einer anderen Studie wurde der Beitrag sogar auf 6,7 % beziffert.²⁹

Zentrale Erkenntnis ist, dass der größte Teil der Emissionen nicht aus dem direkten Krankenhausbetrieb, sondern aus vorgelagerten Lieferketten (Scope 3) stammt – insbesondere aus der Produktion von Arzneimitteln, Medizinprodukten, Einwegmaterialien sowie Bau und Logistik. Der Bericht machte deutlich, dass technologische Effizienzmaßnahmen allein nicht ausreichen, sondern systemische Veränderungen von Versorgungsmodellen, Beschaffung und klinischer Praxis notwendig sind. Gleichzeitig betont er, dass Klimaschutz im Gesundheitswesen mit Gesundheitsgewinnen (z. B. Luftreinhaltung, Prävention) einhergehen kann und somit Teil des Kernauftrags von Gesundheitssystemen ist.

International führende Beispiele zeigen, dass Dekarbonisierung dann besonders schnell vorankommt, wenn klare Net-Zero-Ziele politisch mandatiert werden, Scope-3/„consumption-based“ Emissionen (Beschaffung, Arzneimittel, Medizintechnik) explizit adressiert sind, die Umsetzung über verbindliche Standards, Beschaffungsvorgaben und Investitionsprogramme erfolgt und Fortschritte über regelmäßige Berichte, Kennzahlen und Gover-

nance öffentlich nachvollziehbar sind. In der Praxis bündeln Vorreiterländer Maßnahmen in wenigen, hochwirksamen Hebeln: Dekarbonisierung von Gebäuden und Energieversorgung, emissionsarme Versorgungspfade (z. B. ambulant statt stationär, Telemedizin, „right care“), klimafreundliche Narkose- und Inhalationsstrategien, sowie konsequent nachhaltige Beschaffung einschließlich Lieferketten-Transparenz. Im Folgenden werden Länder bzw. Systeme skizziert, die international besonders sichtbar und programmatisch vorangehen.

England: NHS England

NHS England gilt als Referenz, weil der NHS früh ein systemweites Net-Zero-Commitment formulierte und dieses in eine umfassende Roadmap übersetzte. Die Strategie „Delivering a ‘Net Zero’ National Health Service“ definiert zwei Ziele: Net Zero für direkte Emissionen („NHS Carbon Footprint“) bis 2040 und Net Zero entlang des erweiterten Fußabdrucks („NHS Carbon Footprint Plus“, inkl. Lieferketten) bis 2045, jeweils mit Zwischenzielen.³⁰ Ergänzt wird dies durch ein nationales Programm („Greener NHS“) mit Handlungsfeldern wie Energie/Immobilien, Transport, Arzneimittel- und Gerätebeschaffung, Abfall sowie klinische Transformation (z. B. emissionsärmere Anästhesie, digitale Versorgung). Die Fortschrittslogik ist zentral: NHS England hat eine regelmäßige Berichterstattung angekündigt und 2025 erstmals systematisch Zwischenstände, Governance-Mechanismen und Beispiele aus der Umsetzung zusammengeführt („Progress report – delivering a greener NHS: five years on“).³¹ Damit entsteht ein international seltenes Paket aus Zielarchitektur, Methodik (inkl. Scope-3), Implementierungsprogramm und öffentlicher Rechenschaft.

Für die Circular Economy Perspektive besonders bedeutsam ist, dass der NHS die Liefer-

28 Health Care Without Harm. Health care climate footprint report, 2019. <https://global.noharm.org/resources/health-care-climate-footprint-report#:~:text=If%20the%20global%20health%20care,Harm%20in%20collaboration%20with%20Arup>

29 Pichler P et al. International comparison of health care carbon footprints. Environ. Res. Lett. 2019; 14 064004

30 NHS. Delivering a net-zero national health services. 2020. <https://www.england.nhs.uk/greenernhs/wp-content/uploads/sites/51/2020/10/delivering-a-net-zero-national-health-service.pdf>

31 NHS. 2025, NHS England » Five years of a greener NHS: progress and forward look

kette über procurement operationalisiert: In der „Supplier Roadmap“ wird u. a. ein Mindest Gewicht von 10% für Net Zero/Social Value in Ausschreibungen genannt; außerdem werden Carbon Reduction Plans schrittweise verpflichtend (zunächst für große Verträge, dann für alle Beschaffungen) und ab 2027 sollen Lieferanten für NHS Verträge global (Scope 1–3) Ziele/Emissionen berichten und Fortschritt über ein standardisiertes Assessment (Evergreen) nachweisen; zusätzlich sind Anforderungen zur Product Carbon Footprinting Logik vorgesehen.³² Diese Architektur unterstützt eine Kreislaufwirtschaft, weil sie Lebenszyklusdaten, Reparierbarkeit, Materialeffizienz und Wiederverwendung systematisch in Lieferantenstrategien integriert – und damit über eine reine Energieeffizienz im Krankenhausbetrieb hinausgeht.

Niederlande: Green Deal Duurzame Zorg 3.0 (Sektorvertrag mit Breitenwirkung)

Die Niederlande verfolgen einen stark kooperativen, sektorübergreifenden Ansatz über die „Green Deal Sustainable Healthcare / Green Deal Duurzame Zorg 3.0“. Dieser wurde im Kontext der Nationalen Klima-Woche 2022 vorgestellt und gilt für 2023–2026, mit inzwischen hunderten Unterzeichnenden aus Versorgung, Industrie, Kommunen und Wissensorganisationen.³³ Auffällig ist die Doppelzielstruktur: (1) Emissionsminderung (u. a. mindestens 55% direkte CO₂ Reduktion bis 2030 gegenüber 2018; Zwischenziel 30% bis 2026) und (2) Ressourcenziele („maximum circular healthcare in 2050“, flankiert durch kurzfristige Abfall-/Restabfall Reduktionsziele).³⁴ Für die Umsetzung haben sich viele Unterzeichner (über 550 Organisationen) verpflichtet, die Ziele in „sector plans“ zu übersetzen; das wird durch das Gesundheitsministerium (VWS) explizit als Prozess unterstützt. Gerade die Einbindung von Krankenversicherern und Einkaufsakteu-

ren schafft Anschlussfähigkeit für Green Procurement (z. B. einheitlichere Nachhaltigkeitskriterien und Marktsignale für Wiederaufbereitung/refurbishment).

Der Green Deal bündelt Ziele und Maßnahmen unter mehreren Themenfeldern, darunter: klimaneutrale/„grünere“ Versorgung, Gesundheitsförderung/Prävention, Reduktion von Umweltbelastungen (z. B. Abfall, Chemikalien, Mikroverunreinigungen) sowie nachhaltige Beschaffung und Zusammenarbeit im Versorgungsprozess. Charakteristisch ist, dass der Staat (u. a. über die Regierungskommunikation) den Rahmen setzt, während die Umsetzung als gemeinsamer Transformationsprozess organisiert ist: Organisationen verpflichten sich zu konkreten Aktivitäten, Best-Practice-Transfer und messbaren Ergebnissen innerhalb der Laufzeit. Für andere Länder ist besonders lehrreich, wie ein „Deal“-Instrument mit breiter Akteursbasis genutzt wird, um Nachhaltigkeit als Querschnittsaufgabe in Qualität, Prävention und Beschaffung zu verankern.

Dänemark: Gemeinsame Krankenhausstrategie der fünf Regionen (consumption-based Zielpfad)

Dänemark ist ein Beispiel dafür, wie regionale Träger ihre Krankenhauslandschaft gemeinsam auf Klimaziele ausrichten. Die fünf dänischen Regionen veröffentlichten 2024 eine „Strategy for sustainable hospitals“ mit einem klaren, verbrauchsbasierten (consumption-based) Ziel: 50% Reduktion der consumption-based CO₂-Emissionen bis 2035 (Basisjahr 2022), Größenordnung: >1,6 Mio. t CO₂ pro Jahr.³⁵ Der Fokus auf consumption-based Emissionen ist international relevant, weil damit Beschaffung und Lieferketten – typischerweise der größte Emissionsblock im Gesundheitswesen – berücksichtigt werden.³⁶ Parallel wurde

32 LLP. Building net zero into NHS procurement – the Supplier Roadmap. [Link to PowerPoint Presentation](#)

33 Green Deal Duurzame Zorg - Vergroen de zorg!. 2022. <https://www.government.nl/topics/sustainable-healthcare/more-sustainability-in-the-care-sector>

34 Green deal Duurzame Zorg, Explanation of the theme [Zugriff am 15.1.2026]

35 The Danish regions' strategy for sustainable hospitals, Healthcare Denmark, 2024: <https://healthcaredenmark.dk/news-publications/publications/the-danish-regions-strategy-for-sustainable-hospitals/>

36 Danish regions. 2024. 2-pager-the-danish-regions-strategy-for-sustainable-hospitals-from-2024.pdf

ein zentraler Circular Economy Hebel regulatorisch freigeschaltet: Ab 1. Januar 2025 erlaubt eine geänderte nationale Verordnung die Aufbereitung und Wiederverwendung von als „single use“ gekennzeichnetem Medizinprodukt – bei gleichzeitiger Sicherung von Sicherheit/Wirksamkeit und Übernahme der Herstellerpflichten durch den Aufbereiter (CE Logik, Überwachung, etc.).³⁷ Das ist für OP Materialien und Katheter Segmente zentral, weil es den Übergang von Einweg zu zertifizierten Re-processing Modellen systemisch ermöglicht. Ergänzend zeigen regionale Programme (z. B. in der Hauptstadtregion) praxisnah, wie Nachhaltigkeit in Betrieb, Beschaffung und Organisation verankert wird, etwa durch Umweltmanagement, Anforderungen an Produkte/Dienstleistungen und Maßnahmen in Kliniken und Einrichtungen.³⁸ In der Gesamtschau positioniert sich Dänemark damit nicht nur über nationale Klimaziele, sondern über eine konkrete, abgestimmte Krankenhausagenda mit messbarem Reduktionspfad.

Australien: Nationale Strategie + subnationale Net-Zero-Roadmaps (Resilienz und Dekarbonisierung zusammen)

Australien hat die Klimaperspektive im Gesundheitswesen jüngst stärker institutionell verankert. Mit der National Health and Climate Strategy existiert ein landesweiter Rahmen, der sowohl Anpassung/Resilienz als auch die Reduktion des Beitrags des Gesundheitssystems zum Klimawandel adressiert und als Umsetzungszeitraum 2024–2028 benennt.³⁹ Bemerkenswert ist die explizite Zielrichtung auf ein „sustainable ... net zero health system“ im Strategierauftrag. Gleichzeitig sind in Australien subnationale „Delivery“-Instrumente wichtig: In New South Wales etwa beschreibt der Gesundheitssektor eine Net Zero Roadmap

als mehrjährigen Plan für ein emissionsarmes, klimaresilientes System.⁴⁰ Diese Kombination aus nationalem Rahmen (für Kohärenz, Standards und Prioritäten) und regionalen Roadmaps (für Investitionen, Umsetzung und Monitoring) ist ein typisches Muster in föderalen Systemen – und liefert Ansatzpunkte, wie sich Dekarbonisierung trotz fragmentierter Zuständigkeiten skalieren lässt.

USA: HHS-Klimapledge + sektorweite Allianz-bildung

Die USA verfolgten – bei stark dezentraler Governance – einen Ansatz über freiwillige, aber öffentlich sichtbare Selbstverpflichtungen und Multi-Stakeholder-Koordination. Das US-Gesundheitsministerium (HHS) hatte 2022 eine „Health Care Sector Commitments to Emissions Reduction and Resilience“-Pledge gestartet: Unterzeichnende sollen u. a. mindestens 50% Emissionsreduktion bis 2030 anstreben, Scope-3-Emissionen bilanzieren und Resilienzpläne entwickeln, jeweils mit öffentlicher Rechenschaft.⁴¹ Parallel betonte die US-Administration die breite Beteiligung großer Akteure und die Zielmarke „50% by 2030“ als politisches Signal und Marktdruck in Richtung Dekarbonisierung.⁴² Der US-Ansatz zeigt, wie in einem pluralen System Fortschritt über Transparenz, freiwillige Standards, Benchmarking und breite Allianzen erzeugt werden konnte, aber auch wie anfällig solche Allianzen für politische Wendungen sind.

37 Danish Medicines Agency. 2024. „Ab dem 1. Januar 2025 ist die Wiederverwendung von medizinischen Einwegprodukten erlaubt.“ <https://laegemiddelstyrelsen.dk/da/nyheder/2024/per-1-januar-2025-er-det-tilladt-at-genbruge-medicinsk-engangsudstyr/>

38 The Capital Region of Denmark. Environmental Friendly Hospitals and Institutions, 25. August 2022. <https://www.regionh.dk/english/Climate-and-environment/Environmental%20Friendly%20Hospitals%20and%20Institutions/Pages/default.aspx>

39 Australian Centre for Disease Control. National Health and Climate Strategy. Full report, 2023. https://www.cdc.gov.au/system/files/2025-10/national-health-and-climate-strategy_0.pdf

40 NSW Health. Net Zero Roadmap. 2025-2030. <https://www.health.nsw.gov.au/netzero/roadmap/Publications/net-zero-roadmap.pdf>

41 aktuelle Webseiten hierzu sind aufgrund der aktuellen politischen Aussichtung als „archived“ gekennzeichnet und nicht aufrufbar

42 The White House. June 30, 2022. FACT SHEET: Health Sector Leaders Join Biden Administration's Pledge to Reduce Greenhouse Gas Emissions 50% by 2030. <https://bidenwhitehouse.archives.gov/briefing-room/statements-releases/2022/06/30/fact-sheet-health-sector-leaders-join-biden-administrations-pledge-to-reduce-greenhouse-gas-emissions-50-by-2030/>

Schottland: Net Zero NHS Scotland bis 2040 (Strategie mit klinischem Fokus)

NHS Scotland steht exemplarisch für ein Gesundheitssystem, das Net Zero als Teil der öffentlichen Daseinsvorsorge strategisch verankert. Die „NHS Scotland Climate Emergency and Sustainability Strategy 2022–2026“ formuliert das Ziel, spätestens 2040 ein Net-Zero-Health-Service zu sein, und betont ausdrücklich die Bedeutung von Lieferketten und klinischen Entscheidungen für Emissionen.⁴³ Die Strategie verbindet Emissionsminderung mit Anpassung/Resilienz und strukturiert die Umsetzung über priorisierte Handlungsfelder (z. B. Energie/Immobilien, Reise/Transport, Beschaffung sowie klinische Praxis).⁴⁴ Der besondere Mehrwert liegt in der Klarheit, dass Dekarbonisierung nicht nur ein „Facility“-Thema ist, sondern Versorgungsmodelle und klinische Routinen betrifft – also genau jene Hebel, die in der Praxis die größten Emissionsblöcke (Scope-3 und Nutzungsintensität) beeinflussen. Diese explizite klinische Verankerung erleichtert es, Nachhaltigkeit in Qualitäts- und Versorgungssteuerung zu integrieren.

Schweden: Fossil-free-Roadmaps + praxisnahe „high-impact“ Maßnahmen in Regionen

Schweden ist weniger durch ein einziges nationales „Net-Zero-NHS“-Programm sichtbar, aber durch eine starke klimapolitische Rahmensetzung und sektorale Roadmaps. Der nationale Klimarahmen, verabschiedet bereits im Jahr 2017, benennt Netto-Null bis 2045 als langfristiges Ziel.⁴⁵ Innerhalb der Initiative Fossilfritt Sverige haben zahlreiche Branchen Roadmaps entwickelt, darunter auch Bereiche mit enger Verbindung zur Gesundheits-

versorgung (z. B. chemisch-pharmazeutische Wertschöpfung), die den Weg zu einem klimaneutralen Schweden 2045 skizzieren.⁴⁶ Besonders lehrreich sind konkrete, hochwirksame Maßnahmen aus den Regionen: Für Lachgas (N₂O) – ein starkes Treibhausgas in der klinischen Anwendung – dokumentieren nordische Fallbeispiele umfangreiche Installationen von N₂O-Destruktionssystemen in schwedischen Regionen und nennen hohe Reinigungsraten sowie relevante CO₂e-Einsparpotenziale (z. B. Region Östergötland/Linköping).⁴⁷ Neben großen Transformationspfaden (Energie, Beschaffung) werden gezielte „high-impact“-Interventionen in einzelnen klinischen Emissionsquellen systematisch skaliert.

Norwegen – zentrale Krankenhausbeschaffung als Nachhaltigkeits und Circular Hebel.

Norwegen zeigt, wie stark ein national gebündelter Einkauf wirken kann: Sykehusinnkjøp (zentrale Beschaffung für öffentliche Krankenhäuser) beschreibt eine Einkaufsgröße von rund 28 Mrd. NOK pro Jahr und positioniert Nachhaltigkeit als gleichrangig zu Qualität/Preis/Lieferfähigkeit. Die revidierte Umwelt Policy betont ausdrücklich stärkere Vorgaben zur „sirkulær økonomi“ (und erweiterte Chemikalienanforderungen) in Ausschreibungen. In der Policy Dokumentation wird zudem festgehalten, dass Produkte mit niedrigem CO₂ Fußabdruck priorisiert und anerkannte Umweltzeichen/Criteria Sets genutzt werden sollen – anschlussfähig für Life Cycle Costing und zirkuläre Produkthanforderungen (Reparierbarkeit, Rücknahme, Refurbishment).⁴⁸

43 Scottish Government. NHS Scotland climate emergency and sustainability strategy: 2022-2026. <https://www.gov.scot/publications/nhs-scotland-climate-emergency-sustainability-strategy-2022-2026>

44 Centre for Sustainable Healthcare. NHS Scotland Sustainability Strategy Resources and Support. <https://sustainablehealthcare.org.uk/services/nhs-scotland-sustainability-strategy-resources-and-support/>

45 Naturvårdsverket. Sweden's Climate Act and Climate Policy Framework. <https://www.naturvardsverket.se/en/international/swedish-environmental-work/swedens-climate-act-and-climate-policy-framework/>

46 Innovations- och kemiindustrierna i Sverige. Roadmap for fossil-free competitiveness, https://www.ikem.se/fragor-vi-driver/fardplan/?utm_source=chatgpt.com

47 Nordic Center for Sustainable Healthcare. Nordic Know-How 2020. Best practices of sustainable healthcare in the Nordics. https://nordicshc.org/images/Nordic_know-how_2020_Nitrous_Oxide_2.pdf

48 Sykehusinnkjøp. Sykehusinnkjøp mit überarbeiteter Umweltpolitik. <https://www.sykehusinnkjop.no/nyheter/nyheter-2021/sykehusinnkjop-med-revidert-miljopolitic/>

Übergreifende Lehren aus den Vorreiter Gesundheitssystemen

Vergleicht man diese Vorreiter, lassen sich drei Muster verdichten: Erstens wird Net Zero dort steuerungswirksam, wo Ziele (inkl. Scope-3) operationalisiert und über regelmäßige Monitoring- und Berichtspflichten abgesichert werden (besonders sichtbar in England, aber auch in Dänemark/Schottland). Zweitens gelingt Skalierung, wenn Dekarbonisierung in Beschaffung, Investitionsplanung und Versorgungsdesign zugleich greift (Niederlande über Green Deal-Architektur). Drittens sind konkrete klinische Maßnahmen („high impact“) ein entscheidender Beschleuniger – etwa bei Inhalations-/Anästhesiegasen oder durch Standardisierung von nachhaltigen Default-Optionen, ohne Versorgungsqualität zu kompromittieren (Schweden als Beispiel für N₂O-Maßnahmen). Eine Übersicht der vorgestellten Strategien ist im Annex zusammengefasst ([Annex 8.2](#)).

3.3.2. Die Rolle von „Green Insurance“

Unterhalb der Ebene nationaler Gesundheitssysteme bildet sich in der internationalen Literatur das Konzept der „Green Insurance“ heraus. Der Begriff verweist auf ihre strukturelle Steuerungsfunktion innerhalb komplexer Versorgungssysteme. Internationale Studien und Policy-Papiere argumentieren, dass Krankenversicherungen aufgrund ihrer Verantwortung für Leistungsdefinitionen, Vergütungssysteme, Vertragsgestaltung und Qualitätsanforderungen über einzigartige Hebel verfügen, um emissions- und ressourcenintensive Versorgungsmuster zu beeinflussen.

„Green Insurance“ entsteht aus der Einsicht, dass Klimawirkungen im Gesundheitswesen primär durch Versorgungsentscheidungen und nicht durch einzelne Technologien verursacht werden. Versicherer können – anders als einzelne Leistungserbringer – sektorübergreifend wirken, Anreize entlang ganzer Versorgungspfade setzen und langfristige Effekte von Prävention, Versorgungscoordination und Qualitätsverbesserung internalisieren. In der internationalen Diskussion wird Green Insurance daher als Instrument verstanden, um ökologische Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit und Ver-

sorgungsqualität systematisch zu verknüpfen, ohne den medizinischen Nutzen zu kompromittieren.

Die folgenden Praxisbeispiele aus dem Ausland verdeutlichen, wie unterschiedlich nationale Gesundheitssysteme diese Rolle ausfüllen und welche Instrumente Krankenkassen nutzen, um Klimaschutz mit Versorgungsqualität und Wirtschaftlichkeit zu verbinden. Die Analyse fokussiert dabei insbesondere auf systemische Ansätze, sektorübergreifende Steuerung und evidenzbasierte Anreizmechanismen und leitet daraus Erkenntnisse für die Übertragbarkeit auf den deutschen Kontext ab.

Japan

Ein erster, grundlegender Ansatz besteht darin, Klimarisiken explizit als Gesundheitsrisiken anzuerkennen und sie in die Logik der Versicherung zu integrieren. Dies wird besonders deutlich an Beispielen aus Japan, wo Versicherer klimaspezifische Zusatzprodukte eingeführt haben. Die dort angebotene Hitzeschlag-Versicherung ermöglicht es Versicherten, sich tagesaktuell – abhängig von der Wettervorhersage – gegen gesundheitliche Folgen extremer Hitze abzusichern. Die hohe Nachfrage zeigt, dass Versicherte den Zusammenhang zwischen Klimaereignissen und Gesundheit sehr konkret wahrnehmen. Für Krankenkassen markiert dies einen Paradigmenwechsel: Klimawandel wird nicht mehr als externer Umweltfaktor betrachtet, sondern als versicherbares Gesundheitsrisiko, das in Produktdesign und Risikokommunikation Eingang findet. Für Länder mit zunehmender Hitze- und Extremwetterbelastung eröffnet dies neue Wege, vulnerable Bevölkerungsgruppen gezielt zu adressieren.

Australien

Ein zweiter Ansatz zielt auf die soziale Resilienz von Versicherten bei klimabedingten Krisen. Beispiele aus Australien zeigen, dass private Versicherer wie Medibank oder Bupa bei Naturkatastrophen temporäre Beitragsbefreiungen oder Vertragsaussetzungen gewähren. Diese Maßnahmen erkennen an, dass Extrem-

ereignisse nicht nur gesundheitliche, sondern auch ökonomische Belastungen erzeugen, die die Zahlungsfähigkeit der Versicherten beeinträchtigen. Krankenkassen übernehmen hier eine stabilisierende Funktion: Sie sichern den Versicherungsschutz gerade in Situationen, in denen gesundheitliche Risiken steigen. Übertragen auf andere Kontexte – etwa Länder mit häufigen Überschwemmungen oder Hitzewellen – verdeutlicht dieses Beispiel, wie Krankenversicherung zur klimabedingten sozialen Absicherung beitragen kann.

USA – Kaiser Permanente

Beispiele aus den USA zeigen, dass auch private Krankenkassen Green-Health-Ansätze verfolgen können, insbesondere über Investitions- und Vertragsstrategien. Kaiser Permanente etwa nutzt Versicherungsprämien, um in erneuerbare Energien, energieeffiziente Gebäude und nachhaltige Lieferketten zu investieren, und integriert ökologische Kriterien in wertbasierte Vergütungsmodelle. Hier wird sichtbar, dass Krankenkassen kapitalstarke Akteure sind, deren Anlage- und Investitionsentscheidungen selbst einen relevanten Klimaeffekt haben können.

NHS England

Über reine Risikoprodukte hinaus zeigen mehrere Länder, dass Leistungseinkäufer aktiv in die Gestaltung klimafreundlicher und klimaresilienter Versorgung eingreifen. Besonders ausgeprägt ist dieser Ansatz im Vereinigten Königreich, wo der staatliche Krankenkassenversicherer NHS Klimaziele systematisch in seine Steuerungsinstrumente integriert hat. Der NHS verlangt von Leistungserbringern verbindliche „Green Plans“, verknüpft Vergütung mit Nachhaltigkeitskriterien und fördert gezielt digitale und niedrig-emissionsintensive Versorgungspfade. Strategische Einkäufer von Gesundheitsleistungen können somit erheblichen Einfluss auf Emissionen haben – etwa durch die Förderung virtueller Konsultationen oder die gezielte Umstellung von klimaschädlichen Inhalatoren auf treibgasärmere Alternativen bei Asthma. Der entscheidende Punkt

ist dabei, dass Klimaziele nicht isoliert verfolgt werden, sondern mit Qualitäts- und Outcome-Zielen verschränkt sind.

Südkorea

Ein weiterer wichtiger Ansatz besteht darin, Versicherungsleistungen gezielt auf klimasensitive Erkrankungen auszurichten. Südkorea bietet hierfür ein prägnantes Beispiel. Der nationale Krankenkassenversicherer deckt umfangreiche Screening- und Versorgungsleistungen für Erkrankungen ab, die besonders stark durch Umwelt- und Klimafaktoren beeinflusst werden, etwa Atemwegs-, Herz-Kreislauf- oder allergische Erkrankungen. Gleichzeitig nutzt der Versicherer große Routinedatenbestände für Klima-Gesundheits-Risikomodellierung. Hier zeigt sich Green Health Insurance als datengetriebene Präventionsstrategie: Versicherungen antizipieren klimabedingte Krankheitslasten und passen Leistungsumfang und Präventionsangebote entsprechend an.

Ruanda

Green Insurance Mechanismen werden nicht nur in OECD-Ländern angewandt, sondern können auch im Kontext von Niedriglohnländern relevant sein. In Ruanda z.B. ist die gemeinschaftsbasierte Krankenkassenversicherung mit umweltbezogenen Co-Benefits verknüpft. Programme zur Förderung sauberer Kochöfen werden mit gesundheitlichen Zielen verbunden, um Atemwegserkrankungen zu reduzieren. Versicherungszuschüsse sind teilweise an die Teilnahme an umwelt- und gesundheitsfördernden Maßnahmen gekoppelt. Hier fungiert Krankenkassenversicherung als Instrument integrierter Entwicklungs-, Umwelt- und Gesundheitspolitik. Der Klimaimpact wird nicht primär im Gesundheitssystem selbst reduziert, sondern an seinen Ursachen – etwa Luftverschmutzung im Haushalt, anstatt in die Behandlung der Folgekosten von Atemwegserkrankungen zu investieren.

4. Wissenslücken und Forschungsfragen

Die wissenschaftliche Literatur zum Klimaimpact der Gesundheitsversorgung ist in den letzten Jahren stark gewachsen, aber die Forschungslücken bleiben auffallend konsistent: Wir wissen zunehmend, dass das Gesundheitssystem klimarelevant ist – deutlich weniger klar ist, welche Interventionen unter realen Versorgungsbedingungen den größten Nettoeffekt erzielen, wie sie sich skalieren lassen und wie man Emissionsreduktionen systematisch mit Versorgungsqualität, Patientensicherheit und Gerechtigkeit verknüpft.

Methodische Heterogenität

Ein zentrales Problem ist die methodische Heterogenität der Carbon-Footprint-Berechnungen. Ein aktueller systematischer Review zu Input-Output-basierten Berechnungen (EEIO) von Gesundheits-System-Footprints zeigt, dass Studien sich stark in Systemgrenzen, Datenquellen, Sektorzuordnungen und Transparenz unterscheiden, was Vergleiche und Priorisierung erschwert.⁴⁹ Zwar liefern EEIO-Ansätze eine hohe Abdeckung (insbesondere der Lieferketten), aber sie bleiben oft auf Makro- oder Sektorebene und sind damit nur begrenzt handlungsleitend für konkrete Versorgungspfade. Weiterhin stehen aktuelle Input-Output-Tabellen nicht immer in ausreichend aktualisierter Form zur Verfügung.⁵⁰ Andererseits sind prozessbasierte Lebenszyklusanalysen (LCAs) häufig so datenintensiv, dass sie schlecht skalieren. Daraus ergibt sich eine Lücke: Es fehlen standardisierte hybride Ansätze, die gleichzeitig (1) Versorgungsketten realistisch abbilden, (2) klinisch nutzbare Granularität erreichen und (3) reproduzierbar sind. Auch

neuere nationale Analysen zeigen, wie wertvoll es ist, Ausgaben nach Versorgungsebene, Abteilung und sogar Krankheitsbildern zu differenzieren; gleichzeitig wird sichtbar, dass Daten- und Methodenkopplung (Gesundheitsstatistik + I/O-Tabellen + Strukturpfadanalysen) komplex bleibt und international schwer zu übertragen ist.

Siehe Abschnitt Annex 6.1 für eine Übersicht zu LCA and EEIO-Datenquellen.

Patienten- und pfadbezogene Emissionsdaten

Eng damit verbunden ist die zweite große Lücke: patienten- und pfadbezogene Emissionsdaten sind noch selten. Idealerweise sollten Emissionen auf Ebene klinischer Aktivitäten, Prozeduren und Versorgungspfade quantifiziert werden, um echte Hotspots zu identifizieren. Eine aktuelle Studie für England liefert emissionsbezogene Profile klinischer Aktivitäten nach Fachgebieten der Sekundär- und Tertiärversorgung und betont, dass noch granularere Analysen (Prozedur- und Pfadebene) nötig sind, um Interventionen zu entwickeln und umzusetzen.⁵¹ Einzelne pfadbezogene Studien existieren – etwa der Vergleich zweier Therapiewege bei stabiler koronarer Herzkrankheit mittels EEIO – und verdeutlichen, dass bei gleichen klinischen Ergebnissen die Berücksichtigung von Emissions- und Ressourcenperspektive sehr entscheidungsrelevant wird.⁵² Solche pfadbezogenen Analysen sind allerdings noch zu selten, zu wenig standardisiert und meist nicht in Routinedaten- und Qualitätssteuerung eingebettet.

49 Keil M, Frehse L, Hagemeyer M et al. Carbon footprint of healthcare systems: a systematic review of evidence and methods. *BMJ Open*. 2024 Apr 30;14(4):e078464. doi: 10.1136/bmjopen-2023-078464

50 Liang J, Wu R, Bi P et al. Carbon footprint of the Chinese healthcare service: An environmentally extended input-output analysis. *PLOS Medicine*, September 2025, DOI: 10.1371/journal.pmed.1004738

51 Begum H, Gray WK, Simpson RM et al. Carbon emissions from clinical activities by speciality in secondary and tertiary care in England: an exploratory cross-sectional analysis of routine administrative data. *The Lancet Regional Health - Europe*, Volume 54, July 2025, 101333, <https://doi.org/10.1016/j.lanep.2025.101333>

52 Sack F, Irwin A, Raymond I. et al. Healthcare-related carbon footprinting—lower impact of a coronary stenting compared to a coronary surgery pathway. *Front. Public Health*, 2024, <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1386826>

Wirksamkeit von Interventionen

Eine dritte Lücke betrifft die Wirksamkeit von Interventionen in der Routineversorgung. Systematische Reviews zu „Strategien und Taktiken“ bzw. Interventionen zur Emissionsreduktion zeigen eine breite Palette potenziell wirksamer Maßnahmen (von Beschaffung über Energie bis klinische Pfade), machen aber zugleich deutlich, dass die Evidenz häufig auf Fallstudien, Modellierungen oder kurzfristigen Projekten beruht – selten auf robusten Evaluationsdesigns, die Nettoeffekte, Verlagerungseffekte und Nachhaltigkeit über Zeit abbilden. Hier besteht ein klares Defizit in der Implementierungswissenschaft für klimafreundliche Versorgung: Welche Interventionen werden tatsächlich übernommen, welche halten sich über Jahre, welche Nebenfolgen treten auf (z. B. Ressourcenverlagerungen, Zugangshürden, Sicherheitsprobleme)? Eine Übersichtsarbeit zu Interventionen zur Reduktion des Umweltaußendruckes weist ebenfalls darauf hin, dass es viele Ansätze gibt, aber die Herausforderung die Generalisierbarkeit und Skalierung bleibt.⁵³

Eine aktuelle systematische Übersichtsarbeit untersucht evidenzbasierte Interventionen auf Ebene von Kliniker:innen und Gesundheitseinrichtungen, die zur Reduktion von Treibhausgasemissionen im Gesundheitswesen beitragen können⁵⁴ Analysiert werden Studien zu klinischen Entscheidungsprozessen, Versorgungsorganisation, Diagnostik, Therapie, Beschaffung sowie Versorgungsmodellen. Die Ergebnisse zeigen, dass klinische Entscheidungen und Versorgungsdesign einen substantiellen Einfluss auf den Klimaimpact haben und häufig wirksamer sind als rein technische Effizienzmaßnahmen.

Besonders konsistent belegt ist das Emissionsminderungspotenzial durch die Reduktion von Über- und Fehlversorgung, etwa durch indikationsgerechtere Diagnostik, leitlinienkonforme Therapieentscheidungen und den Verzicht auf geringwertige Leistungen. Weitere wirksame Interventionen betreffen die Optimierung von Versorgungspfaden, die Verlagerung geeigneter Leistungen in den ambulanten oder häuslichen Bereich, den gezielten Einsatz von Telemedizin sowie die Vermeidung ungeplanter Notfall- und Akutversorgung. Auch Änderungen in der klinischen Praxis – etwa bei der Wahl von Medikamenten, Anästhesieverfahren oder Medizinprodukten – zeigen relevante, wenn auch kontextabhängige Emissionsreduktionen. Nachhaltige Emissionsminderungen können vor allem durch systemische Interventionen, veränderte Anreizstrukturen und die aktive Einbindung von Kliniker:innen in Entscheidungsprozesse erreicht werden und solche Studien sind in aktuellen Überblicksarbeiten unterrepräsentiert.⁵⁵

Primärversorgung/Facharztversorgung

Viertens bleibt die Primärversorgung in der Klima-Footprint-Literatur unterbelichtet. Während Sekundär-/Akutversorgung und einzelne „Hotspot-Themen“ (OP, Anästhesiegase, Dialyse, Inhalatoren) vergleichsweise gut untersucht sind, fehlen systematische Emissionsanalysen und Interventionsstudien in der Breite der ambulanten Versorgung. Das ist problematisch, weil Primärversorgung für Prävention, Koordination und Vermeidung stationärer Eskalationen zentral ist.

Obwohl Krankenhausaufenthalte häufig als besonders emissionsintensiv wahrgenom-

53 Braithwaite J, Smith CL, Leask E et al. Strategies and tactics to reduce the impact of healthcare on climate change: systematic review. *BMJ* 2024; 387 doi: <https://doi.org/10.1136/bmj-2024-081284>

54 Pickles K, Haas R, Guppy M et al. Clinician and health service interventions to reduce the greenhouse gas emissions generated by healthcare: a systematic review. *BMJ Evid Based Med*. 2024 Sep 20;29(5):300-312. doi: 10.1136/bmjebm-2023-112707

55 Seppänen AV, Or Z. A Scoping Review of Interventions to Reduce the Environmental Footprint of Healthcare. *Value in Health*, Volume 28, Issue 7, 1110 – 1125, DOI: 10.1016/j.jval.2025.01.021

men werden, entstehen nach einer Studie im NHS etwa der Hälfte (45%) der Emissionen nicht durch die Aufnahme von Patienten in das Krankenhaus, sondern durch die angegliederte Facharztversorgung (outpatient care) (basierend auf der Analyse von 17,024,278 Krankenhausepisoden und 101,973,593 Facharzt Besuche).⁵⁶

In vielen Ländern – anders als im traditionell stärker stationär geprägten deutschen System – ist ein großer Teil der fachärztlichen Versorgung als „outpatient care“ organisiert. Damit verlagern sich wesentliche Emissionstreiber wie Diagnostik, Therapiekontakte, Medikationsentscheidungen und Mobilität in den ambulanten Sektor.

Digitalisierung

Die Evidenz zur Digitalisierung ist ambivalent: Zwar zeigen viele Studien, dass Telemedizin häufig Emissionen reduziert – vor allem durch vermiedene Reisen –, aber die Literatur variiert stark in Annahmen (Substitutionsrate, Transportmittel, No-show-Effekte, Rebound durch zusätzliche Nachfrage). Eine aktuelle des Stanford Health Care Systems analysiert z.B. Lebenszyklus-Emissionen von Telehealth vs. Präsenzbesuchen auf Gesundheitssystemebene und zeigt, dass der Nettoeffekt von Kontext und Nutzungsmustern abhängt.⁵⁷

Zwischen 2019 und 2021 stieg die Gesamtzahl der klinischen Besuche um ~13%, gleichzeitig sanken die CO₂-Emissionen aus diesen Besuchen um etwa 36%, was vor allem auf die vermehrte Nutzung telemedizinischer Leistungen zurückzuführen ist. Telemedizinische Termine verursachten pro Besuch weniger als 1% der

Emissionen eines Präsenztermins: ein durchschnittlicher Präsenzbesuch erzeugte ca. 20 kg CO₂e, während ein Telefon- oder Video-Termin nur etwa 0,02–0,04 kg CO₂e emittierte. Andererseits existieren systematische Übersichten zur Telemedizin-Fußabdruckmessung, die die methodische Streuung und die Notwendigkeit konsistenter Bewertungsrahmen betonen.⁵⁸ Daraus folgt eine Lücke: Es braucht standardisierte, praxisnahe Modelle, die konsequent die Nettoeffekte der digitalen Versorgung erfassen – inklusive zusätzlicher Kontakte, infrastruktureller Energie, Endgeräte und möglicher Nachholeffekte.

Mitigation vs Adaptation

Sechstens ist die Forschung stark auf Mitigation fokussiert; Adaptation (klimaresiliente Versorgung) wird politisch diskutiert, aber wissenschaftlich seltener mit Emissions- und Qualitätsmetriken verbunden. Hier fehlt eine integrierte Betrachtung: Welche Anpassungsmaßnahmen (z. B. Kühlung, Notfallresilienz, Lieferkettenrobustheit) erhöhen eventuell Emissionen, und wie kann man diese Trade-offs minimieren? Die Lancet-Kommission zur nachhaltigen Gesundheitsversorgung verdeutlicht, dass Nachhaltigkeit in der klinischen Praxis an Bedeutung gewinnt, aber die Operationalisierung über Messsysteme und Zielkonflikte hinweg noch unzureichend ist.⁵⁹

Heterogenität in Hot-spot Analysen

Siebtens zeigen die „klassischen“ klinischen Hotspots – exemplarisch Inhalatoren – eine weitere Lücke: Es bestehen inzwischen viele Analysen, die große Emissionsunterschiede

56 Begum H, Gray WK, Simpson RM et al. Carbon emissions from clinical activities by speciality in secondary and tertiary care in England: an exploratory cross-sectional analysis of routine administrative data. *The Lancet Regional Health - Europe*, Volume 54, July 2025, 101333, <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2025.101333>

57 Thiel, C.L., Mehta, N., Sejo, C.S. et al. Telemedicine and the environment: life cycle environmental emissions from in-person and virtual clinic visits. *npj Digit. Med.* 6, 87 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41746-023-00818-7>

58 van der Zee C, Chang-Wolf J, Koopmanschap MA, van Leeuwen R, Wisse RP. Assessing the Carbon Footprint of Telemedicine: A Systematic Review. *Health Serv Insights.* 2024 Aug 11;17:11786329241271562. doi: 10.1177/11786329241271562

59 Singh, Hardeep et al. The Lancet Commission on Sustainable Health Care measurement framework for advancing sustainable health care transformation, *The Lancet Planetary Health*, Volume 10, Issue 1, 101398

zwischen Produkttypen belegen, aber weniger Evidenz dazu, wie Umstellungen im Alltag gelingen, welche Patientengruppen profitieren oder Nachteile haben und wie man Fehl-anwendung, Therapieabbrüche oder Ungleichheiten vermeidet. Analysen zur Klimawirkung inhalierter Medikamente bestätigen z.B. große Unterschiede (pMDIs typischerweise deutlich höher als DPIs/SMIs) und machen den Hebel sichtbar.⁶⁰ - aber Studien zeigen, dass die mit pMDIs-Inhalatoren verbundenen dennoch Emissionen steigen. Neuere Interventionsstudien wie formularbasierte Optimierung in einer Klinikapotheke zeigen, dass gezielte Maßnahmen messbare Reduktionen ermöglichen – aber auch hier fehlen multi-zentrische, langfristige Outcome- und Equity-Evaluationen.⁶¹

Gemeinsame Mess- und Steuerungslogiken

Übergreifend kulminieren diese Lücken in einem Problem, das gemeinsame Mess- und Steuerungslogiken fehlen, die Emissionsdaten mit Qualität, Patientenerfahrung und Kosten verbinden. Solange Emissionen nicht wie ein Qualitätsparameter entlang von Pfaden messbar werden, bleiben viele Maßnahmen projektförmig. Die Literatur bewegt sich erkennbar in Richtung „activity-level“ und „care-pathway“-Analysen – aber der Schritt zur Routineanwendung in Vertragsgestaltung, Vergütung, Qualitätssicherung und Beschaffung ist wissenschaftlich noch unzureichend begleitet.

60 Vartiainen V, Woodcock AA, Wilkinson A, Janson C, Björnsdóttir U, Haahtela T, Lehtimäki L. Thoughtful prescription of inhaled medication has the potential to reduce inhaler-related greenhouse gas emissions by 85. *BMJ Open Respir Res.* 2024 Sep 1;11(1):e001782. doi: 10.1136/bmjresp-2023-001782.

61 Vartiainen V, Janson C, Hisinger-Mölkänen H, Lehtimäki L, Wilkinson A. Trends in inhaler use and associated carbon footprint: a sales data-based study in Europe. *BMJ Open Respir Res.* 2025 Sep 1;12(1):e002424. doi: 10.1136/bmjresp-2024-002424.

5. Analyse zentraler Handlungsfelder und Stellschrauben

Wie in den vorherigen Abschnitten dargestellt, stellen zentrale Emissions- und Ressourcenhotspots im Gesundheitssystem keine isolierten technischen Fragestellungen dar, sondern spiegeln grundlegende Versorgungsstrukturen, Anreizsysteme und klinische Entscheidungslogiken wider. Der Klima- und Ressourcenimpact wird dabei maßgeblich bestimmt durch die Frage, welche Leistungen erbracht werden, mit welcher Intensität und Dauer, an welchen Versorgungsorten und unter Einsatz welcher Ressourcen.

Ein erheblicher Teil der klimapolitisch relevanten Hebel liegt somit auf der System- und Steuerungsebene. Relevant ist hierbei, dass vielfältige Synergien zwischen Strategien zur Reduktion des Klimaimpacts der Gesundheitsversorgung und anderen Versorgungszielen bestehen⁶²: Die Abkehr von einer krankenzentrierten, primär kurativen Versorgung hin zu stärkerer Prävention und Gesundheitsförderung, die konsequente Reduktion geringwertiger Behandlungen, eine wohnortnahe Versorgung der Patient:innen sowie gezielte Investitionen in eine umweltfreundlichere Infrastruktur wirken sich nicht nur positiv auf Umwelt und Klima aus, sondern können zugleich die Versorgungsqualität, den Zugang zur Gesundheitsversorgung und die Gesundheit der Bevölkerung nachhaltig verbessern.

5.1. Green hospital/green practices

„Green Hospital/Green Practices“-Maßnahmen stellen ein Bündel meist relativ pragmatischer Praxisänderungen in besonders emissions- und ressourcenintensiven Bereichen wie Gebäude- und Prozessenergie, OP/Anästhesie, Abfallströme und Einwegmaterialien, Logistik/Beschaffung sowie Verpflegung dar.

Im OP und der Anästhesie ist die Evidenzlage derzeit am konkretesten. Die Eliminierung oder starke Einschränkung von Desfluran⁶³ kann aufgrund seines hohen Treibhauspotenzials in kurzer Zeit sehr große CO₂e-Reduktionen bewirken. Eine retrospektive Kohortenanalyse aus einem US-Universitätsklinikum quantifiziert beispielsweise eine deutliche Reduktion der CO₂e-Emissionen pro Patient:in über die Zeit. So sanken von 2014 bis Juni 2022 die durchschnittlichen CO₂e-Emissionen pro Patient um 82,8% von durchschnittlich 83,1 kg auf 14,3 kg, getrieben durch den zunächst restriktiven Einsatz und anschließend der Eliminierung von Desfluran. Ähnliche Ergebnisse wurden in einer Studie in Deutschland erzielt, wo durch gezielte Schulungen und institutionelle „Top-down“-Maßnahmen (z. B. Entfernen von Vaporisatoren, klare Standards) der Desfluran-Einsatz drastisch reduziert und Kosten gesenkt wurden⁶⁴. Die Eliminierung von Desfluran hat dabei keinen negativen Einfluss auf die Patientensicherheit.⁶⁵

Ein zweiter, gut belegter Bereich ist die Reduktion von Abfall und Einwegmaterialien, insbesondere im OP und in prozedurreichen Disziplinen (Endoskopie, Orthopädie). Hier wird in der Literatur regelmäßig betont, dass ein erheblicher Teil „regulierten“ (hazardous) Abfalls in der Praxis durch Fehlklassifikation entsteht und dass bessere Trennung sowohl ökologische als auch finanzielle Effekte hat. Eine quasi-experimentelle Studie aus einem OP-Setting zeigt, dass Training die Menge an recycelbarem Abfall pro Eingriff signifikant steigern kann; gleichzeitig deutet die Rückkehr Richtung Ausgangsniveau nach einigen Wochen darauf hin, dass einmalige Schulungen nicht reichen, sondern Wiederholung, Feedback und Prozessdesign nötig sind.⁶⁶

62 Mauer N, Béatrice D, Pantelli D. How can health care facilities reduce their environmental footprint and contribute to more sustainable health systems? [Internet] Copenhagen (Denmark): European Observatory on Health Systems and Policies; 2025. (Policy Brief, No. 68.)

63 Seibold EL, Wachtendorf LJ, Needham MJ et al. Impact of desflurane removal from the operating room on carbon dioxide emissions at a tertiary academic medical centre: a retrospective cohort study. *Br J Anaesth.* 2025 Dec;135(6):1635-1644. doi: 10.1016/j.bja.2025.05.031.

64 Schwiethal A, Treskatsch S, Michael J et al. The Power of Education to Reduce the Carbon Footprint of Volatile Anesthetics in Clinical Practice. *Anesth Analg.* 2025 Oct 1;141(4):868-875. doi: 10.1213/ANE.0000000000007375

65 Patel KH, Ruskin KJ. Is environmental sustainability compatible with patient safety? *Curr Opin Anaesthesiol.* 2025 Dec 1;38(6):748-753. doi: 10.1097/ACO.0000000000001590.

66 Evliya Felek BN, Karadağ Erkoç S et al. Impact of waste segregation training on medical and recyclable waste in an operating theater a quasi experimental study. *Sci Rep.* 2025 May 26;15(1):18430. doi: 10.1038/s41598-025-02797-z.

Bei der Endoskopie quantifiziert eine prospektive multizentrische Studie aus Deutschland die Abfallmengen pro Prozedur und leitet konkrete Reduktionsstrategien ab: konsequente Abfallvermeidung und -reduktion, Wiederverwendung (z. B. Umstieg auf wiederverwendbare Kittel), Recyclingfähigkeit sowie organisatorische Änderungen wie das Bündeln aufeinanderfolgender Prozeduren, was den Abfall pro Fall deutlich senken kann. Durch den Wechsel von Einweg- zu Mehrwegkitteln könnte der Abfall an persönlicher Schutzausrüstung um 54 % reduziert werden. Insgesamt waren 23 % des Abfalls potenziell recycelbar. Bundesweit fallen durch gastrointestinale Endoskopien jährlich schätzungsweise 8024 Tonnen Abfall an – das entspricht dem jährlichen Hausmüll von 18 533 deutschen Bürgern.⁶⁷

Studien in der Chirurgie zeigen, dass die Rationalisierung von Einweg-Convenience-Packs (Entfernen selten genutzter Items) messbar Plastikmengen und CO₂e reduzieren kann. Die neuen rationalisierten Pakete enthielten zwischen 3 und 18 Artikel weniger, die neuen arthroskopischen Pakete 7 bis 8 Artikel weniger.⁶⁸ Die Wiederaufbereitung (Reprocessing) von Single-Use-Devices und das Recycling komplexer Einwegprodukte wird in aktuellen Übersichtsarbeiten positiv hinsichtlich Sicherheit, Kosten und Umweltwirkung beurteilt. Die Autoren weisen aber darauf hin, dass wegen des Patientensicherheitsrisikos weitere Studien, nationale Überwachungssysteme und Lebenszyklusanalysen erforderlich sind.⁶⁹

Daneben gibt es praxisorientierte Arbeiten, die zeigen, dass selbst kontaminierte komplexe Einweg-Instrumente unter bestimmten Bedingungen durch interne Aufbereitungsschritte und externe Verwertungsketten recyclingfähig gemacht werden können – allerdings ist dies nicht immer günstiger. Auf einer chirurgischen

Abteilung konnten nach innerklinischer Desinfektion und Sterilisation Instrumente als Elektroschrott eingestuft und extern maschinell recycelt werden. Innerhalb von sechs Monaten wurden 239 kg Material recycelt, wodurch 545 kg CO₂e eingespart wurden; die Recyclingquote lag bei etwa 80 %. Trotz hoher Akzeptanz beim OP-Personal und geringem Mehraufwand war das Recycling mit 1,90 €/kg rund viermal teurer als die Verbrennung.⁷⁰

In der Radiologie können automatische Workstation-Shutdown-Protokolle die Laufzeiten und damit den Energieverbrauch deutlich reduzieren können – ohne Workflow-Probleme und bei messbaren Kosteneinsparungen. So sank die durchschnittliche wöchentliche Betriebszeit der Workstations von 148 auf 75,5 Stunden, was zu einer jährlichen Energieeinsparung von 17 MWh führte (einer Reduzierung von 3,4 Tonnen CO₂-Äquivalent) und einer finanziellen Einsparung von 5000 £ führte.⁷¹

Ein weiteres Beispiel für einen oft übersehenen Energie-Hotspot ist die Krankenhauswäscherei: Eine prozessbasierte LCA eines großen Wäscherei-Betriebs zeigt, dass Gasverbrauch ein dominanter Emissionstreiber ist (die durchschnittlichen jährlichen Treibhausgasemissionen betragen 2947 t CO₂e) und dass Elektrifizierung kurzfristig je nach Strommix sogar zu höheren Emissionen führen kann, langfristig aber (mit weiter dekarbonisiertem Netz) deutliche Reduktionen ermöglicht. Das ist ein wichtiger Befund, weil er die Relevanz von Timing, Strommix und Systemgrenzen unterstreicht – und damit für Investitionsentscheidungen zentral ist.⁷²

Bei Verpflegung (Catering) ist die Evidenz in den letzten zwei Jahren deutlich konkreter geworden. Mehrere Studien zeigen, dass ein gezieltes Angebot pflanzenbasierter bzw. „planetary health“-orientierter Menüs in

67 Welsch L, Friedrich-Rust M, Tal A et al. Cutting waste in endoscopy: a multicentre observational study in the German healthcare system. *Gut*. 2025 Nov 10;74(12):1989–1994. doi: 10.1136/gutjnl-2024-333401. PMID: 40473397

68 Chowdhury A, Hillier-Smith R, Imran H, Iqbal R, Colaço HB. Carbon footprint reduction in shoulder surgery by the rationalisation of single-use convenience packs. *Shoulder Elbow*. 2025 Aug 19;17585732251364390. doi: 10.1177/17585732251364390.

69 McGrath N, Waldron C, Farragher A, Walsh C, Polisen J. Safety, cost and environmental impact of reprocessing high risk single-use medical devices: a systematic review and meta-analysis. *GMS Hyg Infect Control*. 2025 Jun 6;20:Doc25. doi: 10.3205/dgkh000554.

70 Dohmen J, Lessau M, Schmitz M et al. Recycling von chirurgischen Einweginstrumenten – lohnt sich das? [Recycling of Disposable Surgical Instruments – Is It Worth It?]. *Zentralbl Chir*. 2023 Aug;148(4):329–336. German. doi: 10.1055/a-2122-7519.

71 Walters H, Bowden K, Limphaibool N. Reducing the carbon footprint of radiology through automatic workstation shutdown protocols. *Clin Radiol*. 2024 Nov;79(11):e1284–e1287. doi: 10.1016/j.crad.2024.07.022.

72 John J, Collins M, O'Flynn K, Briggs T, Gray W, McGrath J. Carbon footprint of hospital laundry: a life-cycle assessment. *BMJ Open*. 2024 Feb 28;14(2):e080838. doi: 10.1136/bmjopen-2023-080838

Krankenhauskantinen die ernährungsbezogenen Emissionen senken und zugleich Akzeptanz bzw. Zufriedenheit verbessern kann. Eine quasi-experimentelle Studie in einem großen deutschen Krankenhaus berichtet Emissionsreduktionen im Kantinenbetrieb bei gleichzeitig hoher Nachfrage; ähnliche Arbeiten untersuchen, wie Interventionen (vegan/plant-forward + Information) die Treibhausgasbilanz der Konsument:innen messbar beeinflussen.⁷³ Dennoch zeigen Analysen, dass die Krankenhausmenüs und Verpflegungsangebote trotz nationaler Empfehlungen zu ‚planetary-health‘-orientierten Speiseplänen nur ein geringes Engagement erkennen lassen und ernährungs- sowie klimawissenschaftliche Empfehlungen bislang kaum berücksichtigt werden.⁷⁴

5.2. Vermeidung von Krankenhausaufenthalten durch Prävention und Frühintervention

Im aktuellen wissenschaftlichen Diskurs zeigt sich klar, dass Prävention und Frühintervention nicht nur zentrale Konzepte der Gesundheitsförderung sind, sondern auch substanzielle Potenziale zur Vermeidung ressourcenintensiver und belastender Akut- und Folgetherapien besitzen. Diese Potenziale wirken über mehrere Ebenen: von der Reduktion von Krankenhausaufenthalten über die Vermeidung von Komplikationen bis hin zur Verringerung der kumulativen Emissionen und Ressourcenverbräuche, die akute Interventionen in Gesundheitssystemen mit sich bringen.

Eine systematische Präventionsorientierung in Gesundheitssystemen kann zu einer signifikanten Verringerung von akuten Morbiditäts-episoden führen, die andernfalls umfangreiche

stationäre Ressourcen beanspruchen würden. Dies wird in mehreren internationalen Reviews betont: sie zeigen, dass durch Prävention – darunter Impfprogramme, Screening- und Lifestyle-Interventionen – chronische Erkrankungen, die zu häufigen Notfallaufnahmen und Langzeitstationierungen führen, deutlich seltener werden. Ein aktuelles Scoping-Review identifiziert die Vielzahl verfügbarer Interventionen mit Potenzial zur CO₂-Reduktion und betont zugleich, dass strategische Strukturveränderungen in der Versorgung notwendig sind, um diese Potenziale systematisch zu heben. Zwar fokussieren viele Studien noch stärker auf technische Maßnahmen (z. B. energieeffiziente Kliniken oder Emissionsminderung bei Narkosegasen), doch wird zunehmend anerkannt, dass präventive und frühinterventive Modelle auf Populationsebene ebenso emissionsrelevant sind, indem sie stationäre Aktivität reduzieren.⁷⁵

Insbesondere im Kontext chronischer Erkrankungen – Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes, COPD oder Asthma – hat die Prävention eine empirisch belegte Wirkung auf Vermeidung von Krankenhausaufenthalten und Notfallbehandlungen. Zahlreiche Publikationen zu ambulatory care sensitive conditions (ACSCs) zeigen, dass ein erheblicher Anteil unplanmäßiger Krankenhausaufnahmen vermeidbar ist, wenn kontinuierliche, koordinierte Primärversorgung vorhanden ist und Risiken frühzeitig adressiert werden. Diese vermeidbaren Hospitalisierungen besitzen nicht nur einen erheblichen Kosteneffekt, sondern sind zugleich mit unvermeidbaren Emissionen aus Transport, Energiebedarf stationärer Versorgung, Verbrauchsmaterialien und zusätzlichen diagnostischen Verfahren verbunden.⁷⁶

Ein besonders praxisrelevanter Mechanismus zur Reduktion akuter Versorgungsbedarfe ist

73 Harrison L, Herrmann A, Quitmann C et al. Effects of a cafeteria-based sustainable diet intervention on the adherence to the EAT-Lancet planetary health diet and greenhouse gas emissions of consumers: a quasi-experimental study at a large German hospital. *Nutr J.* 2024 Jul 18;23(1):80. doi: 10.1186/s12937-024-00981-x.

74 Sadler I, Bauer A, Kassam S. How Sustainable Are Hospital Menus in the United Kingdom? Identifying Untapped Potential Based on a Novel Scoring System for Plant-Based Provisions. *J Hum Nutr Diet.* 2025 Feb;38(1):e70019. doi: 10.1111/jhn.70019.

75 Seppänen AV, Or Z. A Scoping Review of Interventions to Reduce the Environmental Footprint of Healthcare. *Value in Health, Volume 28, Issue 7, 1110 – 1125, DOI: 10.1016/j.jval.2025.01.021*

76 Nørby Lyhne C, Bjerrum M, Hammerich A. et al. Interventions to Prevent Potentially Avoidable Hospitalizations: A Mixed Methods Systematic Review. *Front. Public Health, 11 July 2022, Volume 10 - 2022 | https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.898359*

der gezielte Einsatz von Frühinterventions-Modellen, die präventive und koordinierte Versorgung mit Akutvermeidung verbinden. Beispielsweise berichten systemische Ansätze wie Early Intervention Teams im integrierten Versorgungssystem von Birmingham, dass durch frühzeitige Unterstützung und koordinierte Maßnahmen mehr als 10.000 unnötige Krankenhausaufnahmen vermieden und die Verweildauer stationär signifikant gesenkt werden konnten. Dies reduziert nicht nur unmittelbare Ressourcenbeanspruchung, sondern mindert auch die kumulative Energie- und Emissionslast einer stationären Behandlung.⁷⁷

5.3. Digitalisierung und Telemedizin

Während frühe Arbeiten Telemedizin häufig pauschal als „klimafreundlich“ darstellten, zeichnet die neuere Evidenz ein nuancierteres Bild: Telemedizin kann zu erheblichen Einsparungen bei Fahrtwegen, Zeit und Ressourcen führen – aber nur unter bestimmten Bedingungen. Am besten belegt ist der Effekt der Telemedizin auf die Reduktion von Fahrtwegen.⁷⁸ Mehrere systematische Reviews und empirische Studien zeigen übereinstimmend, dass virtuelle Konsultationen im Vergleich zu Präsenzterminen in der Regel signifikante Reiseeinsparungen ermöglichen – sowohl für Patient:innen als auch für Gesundheitsfachkräfte. Besonders stark sind diese Effekte in ländlichen Regionen, bei chronischen Erkrankungen mit hoher Besuchsfrequenz (z. B. Diabetes, Herzinsuffizienz, COPD), in der Nachsorge (poststationär, onkologisch, chirurgisch), und bei fachärztlichen Konsultationen mit sonst langen Anfahrtswegen.⁷⁹ Studien aus Großbritannien, Skandinavien, Kanada und Australien

berichten Reduktionen von mehreren zehn bis mehreren hundert Kilometern pro Patient:in und Jahr, abhängig vom Setting. Damit gehen nicht nur CO₂-Einsparungen, sondern auch Zeitgewinne, geringere indirekte Kosten (Arbeitsausfall, Betreuungspflichten) und oft eine bessere Erreichbarkeit einher. Auch der Effekt auf Wartezeiten ist gut dokumentiert: Telemedizinische Angebote verkürzen häufig die Zeit bis zum Erstkontakt, insbesondere in unterversorgten Regionen oder bei Engpassfächern (z. B. Psychiatrie, Dermatologie).

Lebenszyklusanalysen (LCA) und modellbasierte Studien zeigen, dass die Emissionen digitaler Konsultationen (Server, Endgeräte, Datenübertragung) in der Regel um Größenordnungen niedriger sind als die Emissionen von Auto- oder Flugreisen, selbst bei konservativen Annahmen (z. B. Videokonsultation + Laptop + Rechenzentrum) die Reisevermeidung dominiert. In den meisten Szenarien ist Telemedizin daher klimapositiv, wenn sie einen Präsenztermin ersetzt.^{80,81}

Trotz der insgesamt positiven Bilanz identifiziert die aktuelle Literatur mehrere klare Grenzen. Erstens, können Reboundeffekte entstehen (bessere Erreichbarkeit kann zu mehr Kontakten und einer Erhöhung der Gesamtaktivität führen). Zweitens profitieren Ältere, sozial benachteiligte oder digital weniger affine Gruppen nicht automatisch. Ungleichheiten können sich verschärfen, wenn Telemedizin Präsenzangebote ersetzt, ohne Alternativen vorzuhalten. Drittens messen viele Studien Kilometer, Zeit oder Kosten – aber nicht systematisch CO₂e oder Materialflüsse. Es fehlt an standardisierten Metriken für „digitale Klimabilanz.“ Schließlich haben die meisten Studien kurze Beobachtungszeiträume. Ob Telemedizin langfristig zu weniger oder mehr Versorgung führt, ist kontextabhängig und noch unzureichend erforscht.⁸²

77 NHS England: 10,000+ people avoid hospital admission thanks to new health approach. NHS England » 10,000+ people avoid hospital admission thanks to new health approach

78 van der Zee C, Chang-Wolf J, Koopmanschap MA, van Leeuwen R, Wisse RP. Assessing the Carbon Footprint of Telemedicine: A Systematic Review. *Health Serv Insights*. 2024 Aug 11;17:11786329241271562. doi: 10.1177/11786329241271562.

79 Faizan M, Han C, Lee SW. Policy-Driven Digital Health Interventions for Health Promotion and Disease Prevention: A Systematic Review of Clinical and Environmental Outcomes. *Healthcare*. 2025; 13(18):2319. <https://doi.org/10.3390/healthcare13182319>

80 Thiel CL, Mehta N, Sejo CS, Qureshi L, Moyer M, Valentino V, Saleh J. Telemedicine and the environment: life cycle environmental emissions from in-person and virtual clinic visits. *NPJ Digit Med*. 2023 May 9;6(1):87. doi: 10.1038/s41746-023-00818-7

81 Savoldelli A, Landi D, Rizzi C. Exploring the Environmental Impact of Telemedicine: A Life Cycle Assessment. *Stud Health Technol Inform*. 2024 Apr 26;313:81-86. doi: 10.3233/SHTI240016

82 Gogia SB, Maeder A, Mars M, Hartvigsen G, Basu A, Abbott P. Unintended Consequences of Tele Health and their Possible Solutions. Contribution of the IMIA Working Group on Telehealth. *Yearb Med Inform*. 2016 Nov 10;(1):41-46. doi: 10.15265/Y-2016-012.

5.4. Arzneimittel

Arzneimittel sind ein zentraler, aber lange unterschätzter Treiber des Klimaimpacts der Gesundheitsversorgung. Ihre Umweltwirkung entsteht nicht nur bei der Anwendung am Patientenbett, sondern entlang des gesamten Lebenszyklus: energie- und materialintensive Herstellung, globale Lieferketten, Verpackung und Logistik, sowie Entsorgung – zusätzlich zu ökologischen Nebenwirkungen durch Wirkstoffeinträge in Gewässer und Böden.

Zwei Erkenntnisse sind dabei besonders relevant: Erstens können Arzneimittel in bestimmten Versorgungspfaden den überwiegenden Anteil der Treibhausgasemissionen verursachen; zweitens existieren klinisch gut vertretbare Strategien, die gleichzeitig Emissionen,

Kosten und Belastungen senken können – vor allem durch gezieltere Verordnung, Vermeidung von Überversorgung und die Reduktion von Arzneimittelverschwendung.

Auf der Herstellungs- und Lieferkettenebene sind Arzneimittel aufgrund hoher Anforderungen an Reinheit, kontrollierte Produktionsumgebungen und häufig globalisierte Wirkstoffketten emissions- und ressourcenrelevant (Tabelle 1). Während nicht jede Studie die Produktionsphase vollständig quantifiziert, betonen neuere Arbeiten zu pharmazeutischer Umweltbelastung die Bedeutung von Produktionsabwässern und unzureichend regulierten Emissionen, insbesondere bei Wirkstofffertigung in Regionen mit schwächerer Umweltaufsicht.

Tabelle 1: Typischer Ablauf der Lieferkette

Phase	Beispielhafte Bewegung	Transportart
Rohstoffbeschaffung	China → Indien (API-Fabrik)	See, Luft
Active pharmaceutical ingredient (API) - Herstellung	Indien → Deutschland (Formulierungsanlage)	See, Luft
Formulierung / Verpackung	Deutschland → USA (Distributionszentrum)	Luft, See
Distribution	US-Distributionszentrum → Apotheken/Krankenhäuser	Straße, Luft

Pharmazeutika belasten nicht nur das Klima, sondern haben weitere Effekte auf die Umwelt. Durch pharmazeutische Abwässer dringen Antibiotika und Resistenzgene in die Umwelt ein und können so antimikrobielle Resistenzen (AMR) be-

fördern – ein Beispiel, wie ökologische Folgen unmittelbar mit zukünftiger Krankheitslast und damit indirekt auch mit künftigen Ressourcenverbrauch im Gesundheitssystem verknüpft sind.^{83,84}

83 Rayan RA. Pharmaceutical effluent evokes superbugs in the environment: A call to action. *Biosaf Health*. 2023 Oct 29;5(6):363-371. doi: 10.1016/j.bshealth.2023.10.005.

84 Fan Q, Hu Y, Huang S et al. Anti-epidemic pharmaceuticals predominantly contributed to PPCPs flux in the Yangtze River during 2020. *Water Res*. 2025 Nov 1;286:124228. doi: 10.1016/j.watres.2025.124228

Eine Studie aus Kanada hat exemplarisch die globale „Reise“ einer generischen Clonazepam-Tablette entlang ihrer Herstellung, Distribution und Entsorgung untersucht, um die Komplexität pharmazeutischer Lieferketten und ihre Umweltauswirkungen aufzuzeigen.⁸⁵ Ausgangspunkt ist die Verschreibung der Tablette in Vancouver, BC; der Weg beginnt mit der Extraktion von Salzen und Produktion des aktiven Wirkstoffs (API) in Indien und China, gefolgt von Qualitätsprüfungen in der EU und weiteren Produktionsschritten in Indien und den USA (z. B. New Jersey und Tennessee). Anschließend wird die Tablette nach Kanada transportiert und an Apotheken verteilt, bevor sie vom Patienten genutzt wird. Insgesamt legt die Tablette etwa 63 162 km zurück, ohne lokale Transporte und Herstellung der Zusatzstoffe mitzuzählen. Die Studie verdeutlicht, dass gesundheitliche Verschreibungspraktiken reale Umwelt- und Treibhausgas-Auswirkungen haben und dass Herstellerprozesse effizienter gestaltet werden sollten, um Emissionen zu reduzieren.

Noch greifbarer wird der Klimaimpact in Studien, die Arzneimittel innerhalb konkreter klinischer Prozesse bilanzieren. Besonders eindrücklich ist eine Untersuchung zu intravitrealen Injektionen, einem häufigen ophthalmologischen Eingriff, bei dem Medikamente direkt in den Glaskörper des Auges verabreicht werden. Die Autor:innen quantifizieren Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalente) und medizinischen Abfall, der im Zusammenhang mit diesen Behandlungen entsteht, und trennen dabei direkte Klinikemissionen (z. B. Energie für Heizung und Strom) von anderen Quellbereichen. Nach der Analyse wurden 97% der Emissionen durch die Pharmazeutika generiert.⁸⁶ Die Ergebnisse zeigen, dass therapiebezogene Prozesse einen spürbaren ökologischen Fußabdruck haben, was die Notwendigkeit betont, Klinikprozesse, Materialeinsatz und Abfallmanagement zu optimieren, um Umweltbelastungen im Gesundheitswesen zu reduzieren.

Ein besonders praxisnaher Hebel ist die gezieltere Verordnung („right drug, right route, right patient“) unter Einbezug von Klima- und Ressourcenaspekten, ohne den Patientennutzen zu

gefährden. Eine multizentrische internationale LCA zu perioperativem Paracetamol zeigt beispielsweise deutliche Unterschiede zwischen Applikationsformen: Der CO₂-Fußabdruck für eine Dosis von 1g betrug 38g CO₂e (Tablette zum Einnehmen), 151g CO₂e (Flüssigkeit zum Einnehmen) und 310–628g CO₂e (intravenös, abhängig von der Art der Verpackung und den Verabreichungshilfsmitteln). Intravenös verabreichtes Paracetamol verursacht im Vergleich zur oralen Tablettenform 12-mal höhere CO₂-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus und sollte nur in Fällen eingesetzt werden, in denen orale Darreichungsformen nicht möglich sind. Die Studie verknüpft dies explizit mit Kosten und kommt zu dem Schluss, dass bei Patient:innen, für die oral indiziert ist, eine optimierte orale Gabe sowohl Emissionen als auch Kosten reduzieren kann.⁸⁷ Dieses Prinzip lässt sich generalisieren: Viele „grüne“ Arzneimittelstrategien sind in Wirklichkeit Qualitäts- und Effizienzstrategien, die unnötige oder suboptimale Therapieformen verringern.

85 Kaur H, Parascandolo F, Krantzberg G et al. Journey of a pill. Canadian Family Physician April 2025; 71 (4) 263-269; DOI: <https://doi.org/10.46747/cfp.7104263>

86 Maestri F, Ferrero A, Rothschild PR, Eymard P, Brézin AP, Monnet D. The carbon footprint and wastage of intravitreal injections. J Fr Ophthalmol. 2024 Apr;47(4):104079. doi: 10.1016/j.jfo.2024.104079.

87 Davies JF, McAlister S, Eckelman MJ et al. Environmental and financial impacts of perioperative paracetamol use: a multicentre international life-cycle assessment. Br J Anaesth. 2024 Dec;133(6):1439-1448. doi: 10.1016/j.bja.2023.11.053.

Am besten untersucht ist derzeit die Emissionsrelevanz bestimmter Arzneimittel- und Device-Kategorien, insbesondere bei Inhalatoren. Studien dokumentieren, dass treibgasbetriebene Dosieraerosole (pMDIs) den Großteil inhalationsbezogener Emissionen verursachen und dass Umstellungen auf treibgasfreie Alternativen (DPI/SMI) – bei geeigneten Patient:innen – große CO₂e-Reduktionen ermöglichen. Eine Querschnittsanalyse aus Südtirol zeigt, dass MDIs jährlich im Bereich von etwa tausend Tonnen CO₂e liegen können, während DPIs in derselben Region deutlich darunter bleiben; ein Wechsel zu DPIs wird als substanzielle Reduktionsoption beschrieben.⁸⁸ Eine Längsschnittstudie aus den USA quantifiziert die Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalente), die durch inhalative Medikamente entstehen, insbesondere durch verschiedene Arten von Inhalationsgeräten im Veterans Health Administration (VA)-Gesundheitssystem der USA. Die Arbeit quantifiziert den Klimaeinfluss unterschiedlicher Inhalatorgeräte über einen Zeitraum von 2008 bis 2023 anhand von realen Verordnungs- und Abgabedaten aus dem VA Data Warehouse, gekoppelt mit etablierten Emissionsfaktoren zur Berechnung von CO₂-Äquivalenten (CO₂e). Über den 16-jährigen Zeitraum konnten deutliche Reduktionen der Gesamt-CO₂e-Emissionen bei VA-Inhalatoren beobachtet werden. Im Jahr 2008 betrug die inhalatorbezogenen Emissionen >300 000t CO₂e. Nach der globalen Umstellung von ozonschädigenden Chlorofluorcarbonen (CFCs) auf Hydrofluoralkane (HFAs) und einer formularybasierten Priorisierung treibgasfreier Alternativen ging diese Zahl im Jahr 2014 auf 134 235t CO₂e zurück, ein Rückgang von 43,3% gegenüber 2008. Bis 2023 verringerte sich der Wert auf 98 980t CO₂e, was einem Gesamtrückgang von 68,1% gegenüber 2008 entspricht. Berücksichtigt man die

steigende Veteran:innen-Population im selben Zeitraum (von 5.994.911 auf 8.229.816 Personen), ergibt sich ein Rückgang der Pro-Kopf-Emissionen um 76,1%.⁸⁹

Ergänzend zeigt eine Studie zu MDI-Verschwendung, dass ein sehr großer Teil der abgegebenen Dosen ungenutzt bleibt und dass bereits moderate Abfallreduktionen erhebliche CO₂e- und Kosteneinsparungen ermöglichen – hier wird der Zusammenhang zwischen Verordnungs-/Abgabepaxis, Patientennutzen (richtige Menge, richtige Anwendung) und Klimaeffekt besonders deutlich.⁹⁰ Damit rückt ein weiterer, oft unterschätzter Bereich in den Vordergrund: Arzneimittelverschwendung und Entsorgung. Eine systematische Übersicht zu „medicine take-back programmes“ zeigt, dass Rücknahmesysteme international sehr unterschiedlich organisiert sind (von lokalen Programmen bis nationalen Strukturen) und dass die Effektivität stark von Zugänglichkeit, Governance und Finanzierung abhängt.⁹¹

Der Klimaimpact von Arzneimitteln ist somit groß und steuerbar. Besonders wirksam sind (1) gezieltere Verordnung und Wahl der Applikationsform mit gleicher klinischer Wirksamkeit (Beispiel i.v. vs oral), (2) Device- und Formulary-Strategien mit hohem CO₂e-Hebel (Inhalatoren), sowie (3) Rücknahme-, Wiederverwendungs- und Abfallvermeidungsprogramme, die Verschwendung reduzieren und zugleich Kosten senken können.

88 Mairhofer J, Sangermano K, Morandell G et al. Comparing the CO₂ emissions of metered dose inhalers and dry powder inhalers: a cross-sectional environmental impact analysis of asthma and COPD therapies in South Tyrol, Italy. *BMJ Open Respir Res.* 2025 Jun 27;12(1):e002977. doi: 10.1136/bmjresp-2024-002977.

89 Weppner WG, Singh H, Boyd J et al. A Longitudinal Assessment of Greenhouse Gas Emissions From Inhaler Devices in a National Health System. *JAMA.* 2025 Nov 11;334(18):1667-1669. doi: 10.1001/jama.2025.15638.

90 Caron C, Sajwani S, Bateman K et al. Environmentally sustainable opportunities for health systems: Metered-dose inhaler prescribing, dispensing, use and waste at a tertiary academic centre. *Can Pharm J (Ott).* 2024 Sep 18;157(6):315-323. doi: 10.1177/17151635241268299.

91 Wang LS, Aziz Z, Wang ES, Chik Z. Unused medicine take-back programmes: a systematic review. *J Pharm Policy Pract.* 2024 Sep 9;17(1):2395535. doi: 10.1080/20523211.2024.2395535

5.5. Medizinprodukte

Medizinprodukte sind – ähnlich wie Arzneimittel – ein wesentlicher Treiber des Klimaimpacts der Gesundheitsversorgung, allerdings mit einer anderen „Wirklogik“: Während bei Arzneimitteln häufig Herstellung und Wirkstoffketten dominieren, entstehen bei Medizinprodukten große Umweltwirkungen durch Materialeinsatz, Einwegdesign, Verpackung, sterile Prozessketten (Aufbereitung/Sterilisation) sowie durch die Entsorgung als (regulierter) Abfall. Die Literatur zeigt dabei ein konsistentes Bild: Die größten Potenziale zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und Ressourcenverbrauch liegen in (1) Vermeidung unnötiger Einwegmaterialien, (2) Wiederverwendung/Wiederaufbereitung unter zertifizierten Prozessen, (3) Verlängerung des Produktlebenszyklus (Reparatur, Wartung, Re-Use-Design, optimierte Aufbereitungslogistik) und (4) Optimierung der Abfallströme (korrekte Klassifikation, Recyclingstrukturen). Gleichzeitig wird in der Literatur betont, dass ökologische Maßnahmen nur dann nachhaltig implementierbar sind, wenn sie Patientensicherheit, Hygieneanforderungen und Prozesszuverlässigkeit systematisch adressieren.

Ein zentraler, besonders belastbarer Evidenzstrang betrifft den Vergleich wiederverwendbarer versus disponibler Produkte in der perioperativen Umgebung. Eine Life-Cycle-Analyse zu OP-Kitteln (wiederverwendbar vs. Einweg) zeigt deutliche Vorteile der Wiederverwendung: geringerer Energieverbrauch, deutlich weniger Treibhausgasemissionen, weniger Wasserverbrauch und weniger Abfall – bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Wäscherei- und Abwasserbehandlung als Teil der Systemgrenzen.⁹² Diese Befunde sind wichtig, weil sie einen häufigen Einwand entkräften: Wieder-

verwendbare Textilien seien wegen Aufbereitung und Wäsche „automatisch“ schlechter. Die LCA zeigt im Gegenteil, dass die Produktions- und Entsorgungsbelastungen der Einwegoption häufig dominieren. Neuere klinisch orientierte Studien ergänzen dies, indem sie nicht nur CO₂e betrachten, sondern auch die praktische Eignung für bestimmte Eingriffe. In der elektiven Orthopädie wurde beispielsweise gezeigt, dass ein großer Anteil der Einwegkittel und -abdeckungen gar nicht oder nur gering kontaminiert ist – was die Argumentation stützt, dass in ausgewählten Settings der Umstieg auf wiederverwendbare Alternativen hygienisch plausibel und ökologisch sinnvoll sein kann.⁹³

Ein zweiter, zunehmend datenreicher Bereich ist die Umstellung von Einweg- auf Mehrweg-Instrumente sowie die „Entrümpelung“ von Einweg-Sets. In einer aktuellen Carbon-Footprint-Studie zur Kataraktchirurgie hatten Einweg-Instrumente einen 27-mal höheren CO₂-Fußabdruck als wiederverwendbare Produkte (322 kg CO₂ gegenüber 12 kg CO₂e). Zwei Hebel können daher messbare Einsparungen erbringen: (a) das Streamlining von Einweg-Instrumentensets (Entfernen selten genutzter Komponenten) und (b) der gezielte Switch zu wiederverwendbaren Instrumenten, wobei ab einer bestimmten Zahl von Wiederverwendungen der Mehrwegpfad netto vorteilhaft wird.⁹⁴ Solche Ergebnisse sind für Krankenhäuser und Kostenträger besonders handlungsleitend, weil sie die ökologischen Effekte eng an Standardisierung und Prozessmanagement koppeln: Weniger „Komfort-Einweg“ im Set bedeutet weniger Beschaffung, weniger sterile Verpackung, weniger Entsorgung – ohne dass klinische Endpunkte zwangsläufig berührt werden müssen.

92 Vozzola E, Overcash M, Griffing E. An Environmental Analysis of Reusable and Disposable Surgical Gowns. *AORN J.* 2020 Mar;111(3):315-325. doi: 10.1002/aorn.12885

93 Rotaru J, Miller P, McGarry L, O'Byrne JM. Environmental impact of single-use items and their contamination levels in elective orthopaedic surgery. *Surgeon.* 2025 Oct;23(5):296-300. doi: 10.1016/j.surge.2025.07.007.

94 McCance E, Steinbach I, Morris DS. Comparative carbon footprinting study of reusable vs. disposable instruments in cataract surgery. *Eye (Lond).* 2025 Jun;39(8):1481-1485. doi: 10.1038/s41433-025-03656-x. Epub 2025 Feb 13.

Noch stärker tritt die Lebenszyklus-Logik in Studien hervor, die identische Funktionalität bei sehr unterschiedlichen Produktdesigns vergleichen. Ein aktueller Carbon-Footprint-Vergleich zu Einweg-Elektrochirurgie-Skalpellen versus wiederverwendbaren Alternativen schätzt die Emissionen der Einwegoption auf mehrere Tonnen CO_{2e}, wobei der überwiegende Anteil der Einwegemissionen auf die Produktion entfällt. Bei der Mehrwegoption verschiebt sich der Emissionsschwerpunkt dagegen in den Sterilisations- und Aufbereitungsprozess (Handling in der Sterilisationseinheit).⁹⁵

Diese Verschiebung ist konzeptionell wichtig: Mehrwegprodukte sind am klimawirksamsten, wenn Aufbereitung effizient organisiert ist (Energie, Auslastung, Logistik, Wasser), während Einwegprodukte besonders dort kritisch sind, wo Herstellung/Materialmix und End-of-Life (Verbrennung) dominieren. Damit rückt die Frage nach dem Potenzial der Wiederaufbereitung von Single-Use-Devices (SUD-Reprocessing) in den Fokus – insbesondere, wenn diese Wiederaufbereitung zertifiziert, qualitätsgesichert und regulatorisch eingebettet erfolgt. Ein aktueller systematischer Review mit Meta-Analyse zur Aufbereitung von „high-risk“ Single-Use-Medizinprodukten (u. a. implantierbare Devices wie Schrittmacher/Defibrillatoren sowie bestimmte Katheter) kommt zu dem Ergebnis, dass in den eingeschlossenen Studien (N≈2.657) keine signifikanten Unterschiede in untersuchten Sicherheitsendpunkten zwischen neuen und einmal aufbereiteten Produkten nachweisbar waren.⁹⁶

Die Rolle der Aufbereitungsprozesse wird auch in Bereichen sichtbar, in denen die Umweltbilanz von Einweg vs. Mehrweg nicht eindeutig ist. Ein systematischer Review zur Umweltwirkung endoskopischer Technologien in der Urologie zeigt, dass Ergebnisse je nach Verfahren variieren: Bei Zystoskopie wurden in einzel-

nen Studien für Einwegscopes geringere Abfall- und Wasserverbräuche berichtet, während LCAs keine konsistente ökologische Überlegenheit der Einwegoption ergeben; als plausible Erklärung wird genannt, dass die Aufbereitungsverfahren für Mehrweggeräte stark zwischen Zentren variieren und damit die Ergebnisse treiben.⁹⁷ Diese Befunde unterstreichen, dass lokale Prozessparameter (Sterilisationstechnologie, Auslastung, Transportwege, Reparaturquote, Lebensdauer, Wasser-/Energiepreise und Strommix) wichtig für die Bewertung des Klimaimpacts sind.

Neben Wiederverwendung und Wiederaufbereitung gewinnt die Minimierung und bessere Steuerung von Abfallströmen an Bedeutung – auch, weil Entsorgung (insbesondere als „regulated medical waste“) emissions- und kostenintensiv ist. Eine aktuelle publizierte Studie aus einer ambulanten gastroenterologischen Endoskopieeinheit zeigt, dass ein strukturiertes Recyclingprogramm erhebliche Materialmengen in das Recycling umleiten konnte und dabei eine Netto-Reduktion von CO_{2e} gegenüber Landfilling erreichte, ohne die Effizienz zu verschlechtern – im Gegenteil wurden in diesem Setting sogar günstigere Turnover-Zeiten und höhere Tagesvolumina berichtet, während die Menge regulierten Abfalls stabil blieb.⁹⁸ Die Daten deuten darauf hin, dass Standardisierung, klare Trennung und Logistikdesign sowohl ökologische als auch operative Vorteile bringen können.

Aus diesen Evidenzlinien lässt sich eine Interventionslogik für den Umgang mit Medizinprodukten ableiten, die in vielen Einrichtungen kurzfristig umsetzbar ist. Erstens können Einwegprodukte systematisch durch Mehrwegvarianten ersetzt werden, sofern Hygiene- und Leistungsanforderungen gleichwertig erfüllt sind, etwa bei Textilien oder ausgewählten Instrumenten; Lebenszyklusanalysen und Kontaminationsdaten aus geeigneten Versor-

95 Goubil A, Lefèvre K, Couret C et al. Understanding and quantifying the environmental impact of sterile medical devices: a carbon footprint study of single-use electro-surgical scalpels and their reusable alternatives. *BMJ Surg Interv Health Technol*. 2025 Jul 3;7(1):e000348. doi: 10.1136/bmjst-2024-000348.

96 McGrath N, Waldron C, Farragher A, Walsh C, Polisen J. Safety, cost and environmental impact of reprocessing high risk single-use medical devices: a systematic review and meta-analysis. *GMS Hyg Infect Control*. 2025 Jun 6;20:Doc25. doi: 10.3205/dgkh000554.

97 Peyrottes A, Long-Depaquit T, Pradère B et al. Environmental impact of current endoscopic technology in urological procedures: a systematic review on reusable vs. disposable scopes. *World J Urol*. 2024 Dec 5;43(1):15. doi: 10.1007/s00345-024-05317-2.

98 Ho IK, Carr DV, Coniglio MS, Rodriguez K, Simeonides C, Nunes FA. Recycling in Ambulatory Gastrointestinal Endoscopy, a Single Center Experience. *Am J Gastroenterol*. 2025 Dec 1;120(12):2795-2799. doi: 10.14309/ajg.0000000000003538

gungskontexten liefern hierfür eine belastbare Entscheidungsgrundlage. Zweitens bietet die Optimierung von Sets und Packs ein hohes, oft unterschätztes Potenzial: Der Verzicht auf unnötige Einwegkomponenten senkt CO₂-Emissionen, Abfallmengen und Kosten, ohne die klinische Qualität zu beeinträchtigen. Drittens kann für geeignete als Einweg deklarierte Produkte eine zertifizierte Wiederaufbereitung etabliert werden, die Funktionsprüfung und Rückverfolgbarkeit einschließt und an kontinuierliche Surveillance- und Qualitätsstandards gekoppelt ist. Viertens lässt sich der ökologische Fußabdruck durch eine Verlängerung der Produktlebensdauer weiter reduzieren, etwa durch Reparatur, Wartung und ein reuse-freundliches Design; Lebenszyklusstudien zeigen hierbei, dass die Umweltvorteile von Mehrwegprodukten maßgeblich von der Nutzungszahl und der Qualität der Aufbereitung abhängen. Fünftens schließlich trägt ein integriertes Abfall- und Logistikmanagement – von konsequenter Trennung über funktionierende Recyclingketten bis zur Vermeidung unnötig als „regulated waste“ behandelte Materialien – messbar zur CO₂-Reduktion bei, ohne die Produktivität klinischer Prozesse zu mindern.

5.6. Patientenperspektive

Die aktuelle Literatur zeigt, dass Patient:innen klimafreundliche Gesundheitsversorgung grundsätzlich befürworten, erwarten aber, dass Versorgungsqualität und Sicherheit Vorrang behalten und dass ökologische Maßnahmen nicht in spürbare individuelle Mehrbelastung (Kosten, Zugang, Risiken) umschlagen. Gleichzeitig ist die Wissensbasis vieler Patient:innen über den Klimaimpact des Gesundheitswesens begrenzt – hier liegen Ansatzpunkte, Patient:innen als „Champions“ einzubinden.⁹⁹ Eine große Querschnittsbefragung an einem deutschen Universitätsklini-

kum (LMU München; n=399) illustriert diese Ausgangslage gut: Zwar gaben 92,3% an, über Klimawandel grundsätzlich informiert zu sein, und 82,7% priorisierten klimafreundliches Handeln im Alltag. Gleichzeitig wussten 55,9% nichts vom Beitrag des Gesundheitssektors zu Emissionen und nur 18,3% konnten explizit den Klimaimpact von Krankenhäusern. Dennoch unterstützten 88,2% umweltfreundliche Initiativen in Kliniken, und 86,5% waren offen für nachhaltige Alternativen – unter der Bedingung, dass Qualitätsstandards eingehalten werden. Besonders relevant für Präferenzbildung ist der Wunsch nach Transparenz: 63,2% befürworteten ein „Nutri Score ähnliches“ System zur Anzeige des CO₂ Fußabdrucks medizinischer Prozeduren; 54,4% sagten, dies würde ihre Behandlungswahl beeinflussen. Für Medikamente zeigten 62,2% Interesse an Umweltinformationen, und 65% würden diese Information in ihre Wahl einbeziehen. Allerdings sinkt die Bereitschaft deutlich, sobald kollektive Kosten personalisiert werden: 81% lehnten höhere Versicherungsbeiträge für „grünere“ Krankenhäuser ab; nur 35,8% wären zu einer CO₂ Kompensationszahlung bereit.¹⁰⁰

Ähnliche Ergebnisse finden sich im chirurgischen Setting: In einer Befragung in einer ambulanten Allgemeinchirurgie Sprechstunde (USA; n=97) waren 75,3% besorgt über Umwelteinflüsse auf die eigene Gesundheit, 51,5% stimmten zu, dass Gesundheitsversorgung zum Klimawandel beiträgt, und 87,6% gaben an, eher ein Gesundheitssystem zu wählen, das ökologische Verantwortung sichtbar übernimmt. 84,5% war wichtig, dass ihr Krankenhaus den Umweltimpact reduziert; 37,1% wollten mehr über den Umweltimpact ihrer chirurgischen Optionen wissen. Nachhaltigkeit ist für viele Patient:innen ein Reputations- und Vertrauensaspekt von Versorgung.¹⁰¹ Eine Erhebung zur Nutzung von Inhalatoren in britischen Krankenhäusern berichtet, dass 65% der

99 Hodge A, Wickham H, Florman K, Barrowcliffe G, Tynan A, Patel A, Brill S, Brown J. The patient perspective on the environmental impact of inhalers. *Respir Med.* 2024 Dec;235:107864. doi: 10.1016/j.rmed.2024.107864.

100 Scholz F, Börner N, Schust SA, Schardey J, Kühn F, Renz B, Angele M, Werner J, Guba M, Jacob S. Focus on patient perspectives in climate action policies for healthcare. A German survey analysis on what patients are willing to do. *Front Public Health.* 2024 Nov 26;12:1477313. doi: 10.3389/fpubh.2024.1477313.

101 Beckwith SE, Petit HJ, Sullivan EE, Reyes CB, Gulack BC, Shah AN. Patient Perceptions About the Environmental Impact of Hospitals and Surgical Care. *Am Surg.* 2025 Dec;91(12):2090-2095. doi: 10.1177/00031348251346528.

befragten Patient:innen den CO₂ Fußabdruck ihres Inhalators wichtig finden und 69% einen Wechsel zu einer CO₂ ärmeren Alternative erwägen würden – neben „Ease of use“ und Handhabung als zentralen Entscheidungskriterien.¹⁰² Dass Patient:innen Nachhaltigkeit auch jenseits von Medikamenten als Teil guter Versorgung wahrnehmen, zeigen Daten aus dem OP Kontext: In einer QI Survey Studie stimmten 80,6% zu, dass Nachhaltigkeit wichtig ist, 69,5% fanden nachhaltiges Handeln während des Krankenhausaufenthalts moderat bis extrem wichtig. „Physischer Abfall“ wurde besonders häufig priorisiert (83,3%), vor Strom (66,7%) und Wasser (63,9%). Interessant ist der Bezug zur Patient Experience: 59,4% würden sich zufriedener fühlen, wenn das Krankenhaus Nachhaltigkeit priorisiert; 40% berichteten potenziell mehr Vertrauen in das Personal.¹⁰³

Aus den Studien lassen sich drei Prinzipien zur Einbindung von Patient:innen als Champions ableiten. Patient:innen wünschen Umweltinformationen (z. B. CO₂-Labels für Prozeduren oder Medikamente), priorisieren jedoch ihre eigene Gesundheit. Nachhaltigkeit ist meist

sekundär, aber relevant. Sinnvoll ist daher eine „informed choice“ mit gestuften Informationsangeboten (Kurzlabel plus vertiefende Infos) statt verpflichtender Kommunikation, insbesondere in Akutsituationen. Zweitens, Verhaltensökonomische Nudges wirken effektiv: Eine quasi-experimentelle Studie am Klinikum Essen zeigte, dass die Erstlistung pflanzlicher Menüs die Wahlwahrscheinlichkeit nahezu verdoppelte, ohne zusätzliche Programme oder Einschränkung der Autonomie.¹⁰⁴ Drittens, Patient Champions sollten nicht finanzielle Lasten tragen, sondern aktiv eingebunden werden: über Patient:innenvertretungen in Nachhaltigkeitsgremien, Feedback zu Prioritäten (z. B. Abfall, Verpflegung, Mobilität), Mitentwicklung verständlicher Informationsformate und Peer-to-Peer-Aufklärung (z. B. Inhalationstechnik, Rückgabe/Entsorgung von Medikamenten, Akzeptanz klimafreundlicher Alternativen bei therapeutischer Gleichwertigkeit).¹⁰⁵

102 Rothwell E, McElvaney J, Fitzpatrick A et al. Evaluating inhaler technique, patient preferences and opportunities for improvement in hospitals in the UK. *Future Healthc J.* 2024 May 11;11(2):100141. doi: 10.1016/j.fhj.2024.100141. PMID: 38845621

103 Stachura NK, Brar SK, Davidson J et al. Exploring the Knowledge, Attitudes, and Perceptions of Hospital Staff and Patients on Environmental Sustainability in the Operating Room: Quality Improvement Survey Study. *JMIR Perioper Med* 2024;7:e59790

104 Hünninghaus K, Schäfer HC, Plonka M, Vallejo RM, Dobos G, Haller H. Exploring nudging strategies for plant-based dietary choices in hospital patients: a quasi-experimental study. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2025 Jul 1;22(1):86. doi: 10.1186/s12966-025-01793-w

105 Scholz F, Börner N, Schust SA, Schardey J, Kühn F, Renz B, Angele M, Werner J, Guba M, Jacob S. Focus on patient perspectives in climate action policies for healthcare. A German survey analysis on what patients are willing to do. *Front Public Health.* 2024 Nov 26;12:1477313. doi: 10.3389/fpubh.2024.1477313.

6. Gestaltungsoptionen und Handlungsempfehlungen

Krankenkassen sind keine Randakteure der Transformation, sondern können die Rolle eines zentralen Systemgestalters einnehmen. Ihr Einfluss ergibt sich weniger aus direkter Emissionsverantwortung, sondern aus ihrer Schlüsselrolle bei der Steuerung von Versorgungsvolumina, -pfaden und -anreizen. Genau dort entstehen die größten klima-relevanten Effekte – und zugleich die größten Chancen, Klimaschutz mit Versorgungsqualität zu verbinden.

6.1. Gestaltungsoptionen für Krankenkassen

Der Klimaimpact des Gesundheitssystems wird heute überwiegend durch Versorgungsentscheidungen bestimmt. Wie in diesem Bericht dargestellt, stammen Emissionen größtenteils nicht aus Gebäuden oder Fuhrparks, sondern aus Lieferketten (insbesondere Medikamente und Medizinprodukte), aus energieintensiver stationärer Versorgung sowie aus Mobilität, die durch zentrale und fragmentierte Versorgungsmodelle entsteht. Diese Emissionen sind das Ergebnis dessen, was behandelt wird, wie intensiv, wie lange und über welche Sektorgrenzen hinweg. Diese Dimensionen liegen auch im Einflussbereich von Krankenkassen.

Besonders klimarelevant sind Versorgungspfade mit hoher Prävalenz, langen Verläufen und häufigen Übergängen zwischen ambulanter, stationärer und rehabilitativer Versorgung – etwa bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Asthma/COPD, Diabetes, onkologischen Erkrankungen und Muskel-Skelett-Erkrankungen. In all diesen Bereichen zeigt sich ein wiederkehrendes Muster: Der größte Klimaimpact entsteht nicht durch einzelne spektakuläre Interventionen, sondern durch wiederholte Akutepisodes, lange Liegezeiten, Doppeluntersuchungen und vermeidbare Wiedereinweisungen. Diese Phänomene sind Ausdruck unzureichend koordinierter Versorgung und nicht medizinischer Notwendigkeit.

Krankenkassen können hier ansetzen, indem sie Klimaschutz als Konsequenz guter Versorgung begreifen – nicht als zusätzliches Ziel.

Maßnahmen, die Exazerbationen verhindern, Komplikationen reduzieren oder Übergänge besser organisieren, senken fast immer auch den Ressourcen- und Energieverbrauch. Prävention, strukturierte Programme für chronisch Erkrankte, leitliniengerechte Therapie und wirksames Entlassmanagement sind daher zugleich Qualitäts- und Klimastrategien. Der entscheidende Hebel liegt darin, diese Maßnahmen systematisch zu fördern, zu vergüten und verbindlich zu machen.

Sektorenübergänge

Ein besonders wirksames Feld ist das Management der Sektorenübergänge. Übergänge sind klimarelevant, weil hier Informationsverluste, Unsicherheiten und Brüche auftreten, die zu Mehrfachdiagnostik, unnötigen Fahrten oder erneuten stationären Aufnahmen führen. Krankenkassen können durch integrierte Versorgungsverträge, digitale Informationsflüsse und die Förderung qualitätsgesicherter Nachsorgeprogramme genau diese Übergänge stabilisieren. Jeder vermiedene Wiedereintritt in den stationären Bereich spart nicht nur Kosten, sondern auch erhebliche Emissionen aus Energie, Material und Transport.

Über- und Fehlversorgung

Ein zweiter zentraler Ansatzpunkt ist die Reduktion von Über- und Fehlversorgung. Ein erheblicher Anteil medizinischer Leistungen bringt nur geringen oder keinen Zusatznutzen, verursacht aber dennoch einen vollständigen ökologischen Fußabdruck. Für Krankenkassen bedeutet dies, Indikationsqualität und Nutzenorientierung konsequent in Steuerungsinstrumente zu integrieren. Programme zur Reduktion von Low-Value-Care – etwa unnötige Bildgebung, nicht indizierte Eingriffe oder redundante Kontrolltermine – haben ein hohes Klimaschutzpotenzial, ohne die Versorgungsqualität zu gefährden. Im Gegenteil: Sie stärken eine patientenzentrierte, evidenzbasierte Versorgung.

Beschaffung und Produktwahl

Darüber hinaus verfügen Krankenkassen über einen indirekten, aber bedeutsamen Einfluss

auf Beschaffung und Produktwahl. Zwar kaufen sie Medikamente und Medizinprodukte nicht selbst ein, sie können aber über Erstattungssysteme, Selektivverträge und Arzneimittelsteuerung beeinflussen, welche Produkte in der Breite zum Einsatz kommen. Dort, wo therapeutisch gleichwertige Alternativen existieren, können ökologische Kriterien berücksichtigt werden – etwa bei der Wahl von Inhalationssystemen, wiederverwendbaren statt Einweg-Optionen oder bei der Förderung ressourcenschonender Therapiekonzepte. Entscheidend ist dabei, ökologische Aspekte stets mit klinischer Eignung und Patientensicherheit zu verknüpfen.

Dezentrale und digital unterstützte Versorgung

Ein weiterer wichtiger Hebel liegt in der Förderung dezentraler und digital unterstützter Versorgung. Telemedizin, virtuelle Nachsorge, hybride Reha-Modelle und wohnortnahe Betreuung können Emissionen aus Mobilität deutlich senken, sofern sie physische Kontakte sinnvoll ersetzen und nicht lediglich ergänzen. Krankenkassen können hier durch gezielte Vergütung, Qualitätsanforderungen und Evaluation sicherstellen, dass digitale Lösungen tatsächlich zu weniger Ressourcenverbrauch und gleichzeitig zu besseren Ergebnissen führe.

Wertbasierte Vergütung

Ein naheliegender Ansatz ist die Weiterentwicklung wertbasierter Vergütung um Environmental, Social, und Governance (ESG) Kriterien. Eine aktuelle gesundheitsökonomische Positionierung argumentiert, dass ESG Prinzipien als „Erweiterung“ wertbasierter Versorgung verstanden werden sollten: Outcomes, Ressourcenverbrauch und Klimarisiken sollen systematisch gemeinsam betrachtet werden, nicht als Nebenprojekt.¹⁰⁶ Verträge könnten Umwelt und Resilienz Kriterien als Konditionen enthalten – etwa verpflichtende Klimabilanzierung (mindestens Scope 1/2, perspektivisch

Scope 3 Proxies), Nachhaltigkeitspläne, Lieferketten Transparenz, oder Mindeststandards für Abfall- und Energiemanagement. Entscheidend ist, diese Kriterien nicht als „Soft Reporting“ zu belassen, sondern mit Zahlungsströmen zu verknüpfen (z. B. Qualitätszuschläge, Investitionspauschalen, Vertragspräferenzen).

Pay for Performance (P4P) bietet dafür ein Instrument, aber die Evidenz mahnt zu Vorsicht: Systematische Reviews zu P4P und value based payment zeigen, dass Effekte auf klassische Qualitäts- und Patientensicherheitspunkte häufig gemischt und stark vom Design abhängig sind.¹⁰⁷ Ein ermutigendes, wenn auch klein skaliertes Beispiel liefert ein 2023–2024 pilotiertes „Sustainability QI“-P4P Programm in der Weiterbildung, bei dem Teams finanzielle Anreize für das Erreichen umweltbezogener Verbesserungsziele erhielten – ein Hinweis, dass selbst moderate Zahlungen Verhalten und Umsetzungskapazität mobilisieren können, wenn Ziele konkret und messbar sind.¹⁰⁸ Konkret könnten sich P4P Indikatoren z.B. auf folgende Themen beziehen: Anteil leitliniengerechter pMDI→DPI/SMI Umstellungen (bei geeigneten Patient:innen), Reduktion unnötiger i.v.-Gaben zugunsten oral möglicher Therapien, Quote wiederaufbereiteter/zertifiziert reprozessierter Devices in definierten Produktgruppen, oder Reduktion regulierten Abfalls pro OP Fall – jeweils gekoppelt an Sicherheits- und Outcome Schwellen (Exazerbationen, Wiedereinweisungen, Patient Reported Outcomes).

Für Krankenkassen folgt daraus ein pragmatischer Weg: Start mit wenigen, hochwirksamen, gut messbaren Proxies (z. B. Inhalator Mix, Telemedizin Substitution, regulierter Abfall pro OP Fall, Wiederaufbereitungsquote, Antibiotikavolumen) und schrittweise Ausbau hin zu ESG integrierten, pfadbasierten Outcome Sets, die Klima, Qualität und Kosten gemeinsam abbilden.

106 Ward A, Holmes ME, Ward I, Lokmic-Tomkins Z, East L, Levett-Jones T. Environmental, Social and Governance principles in Australian publicly funded healthcare: an extension of value-based care. *Aust Health Rev.* 2025 Feb;49:AH24296. doi: 10.1071/AH24296

107 Mathes T, Pieper D, Morche J, Polus S, Jaschinski T, Eikermann M. Pay for performance for hospitals. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2019, Issue 7. Art. No.: CD011156. DOI: 10.1002/14651858.CD011156.pub2

108 Chen EH, Fuentes-Afflick E. Sustainability in Action: A Financial Incentive for Trainees Embracing Environmentally Friendly Quality Improvement Projects. *J Grad Med Educ.* 2024 Dec;16(6 Suppl):135-139. doi: 10.4300/JGME-D-24-00059.1.

6.2. Handlungsempfehlungen

6.2.1. Kurzfristig

Krankenkassen

- No regret“-Vertragshebel starten (Qualität + Klima): Selektivverträge/Qualitätszuschläge für nachweislich klimafreundliche, leitlinienkonforme Praxis (z. B. pMDI→DPI/SMI Switching bei geeigneten Patient:innen mit verpflichtender Schulung; Antibiotic Stewardship; i.v.→oral Umstellung, wo klinisch gleichwertig). Die Evidenz zeigt, dass inhalerbezogene Emissionen stark vom Gerätemix abhängen und durch gezielte Formulary-/Verordnungseingriffe sinken können.
- Telemedizin: Vergütung und Programme so gestalten, dass digitale Kontakte Präsenzkontakte ersetzen (nicht addieren), z. B. standardisierte Entlass Tele Follow ups und digitale Chronikerpfade. Studien zeigen messbare CO₂ Einsparungen pro Tele Kontakt durch vermiedene Wege; entscheidend ist die Substitution.
- Patientenbeteiligung aktivieren: Informationsmaterialien zu klimafreundlichen Optionen (Inhalatoren, Rücknahme von Arzneimitteln, Anfahrt/Teleoptionen). Patient:innen sind häufig offen, wenn Qualität gesichert ist (aus unseren vorherigen Auswertungen).

Leistungserbringer

- Sofortmaßnahmen im OP/Anästhesie und Material: Desfluran eliminieren, N₂O minimieren, low flow Standards; OP Sets „entrümpeln“; Einweg Convenience Packs reduzieren, korrekte Abfalltrennung („regulated waste“ minimieren).
- Mehrweg dort, wo sofort machbar: Wiederverwendbare Textilien (Kittel/Abdeckungen) und standardisierte Mehrwegartikel ausweiten; schnelle Audits, welche Einwegkomponenten regelmäßig ungenutzt entsorgt werden.
- Energie und Betriebsführung: Energiemonitoring, Standby Management (IT/Medizingeräte), kurzfristige Effizienzmaßnahmen in großen Verbrauchern (OP Lüftung, Sterilisation mit Auslastungsmanagement).

6.2.2. Mittelfristig

Krankenkassen

- ESG in Vergütungs- und Finanzierungssystemen verankern: Klima- und Circular Kriterien als Bestandteil von Qualitätsverträgen/Selektivverträgen (z. B. ESG Mindeststandards: Nachhaltigkeitsplan, Scope 1/2 Reporting, Scope 3 Proxies über Einkaufsdaten). Ein zentraler Treiber ist die Beschaffung; darum sollten Nachhaltigkeitskriterien in Einkaufs- und Vertragslogik integriert werden (analog zu internationalen Vorreitern, ohne 1:1 Kopie).
- Pay for Performance mit Sicherheits Gates: Bonus nur bei gleichbleibender/verbesselter Versorgungsqualität (z. B. COPD/Asthma Exazerbationen, Wiederaufnahmen, PROMs). Klima Indikatoren dürfen nicht „gegen“ Outcomes incentivieren.
- Förderung sektorübergreifender Pfade: Bündelvergütung für integrierte Versorgung (z. B. Herzinsuffizienz, COPD, Diabetes) mit Fokus auf Übergänge (Entlassmanagement, frühe Nachsorge), um Akutepisoden zu vermeiden – das reduziert zugleich Ressourcenverbrauch.

Leistungserbringer

- Zentrale Sterilgutversorgungsabteilung /Logistik als Circular Enabler modernisieren: Digitale Rückverfolgbarkeit, optimierte Auslastung, validierte Prozesse. Das ist die Voraussetzung für stabile Mehrweg- und ggf. zertifizierte Reprocessing Modelle.
- Nachhaltige Verpflegung skalieren: „Plant forward defaults“ in Kantinen/Patientenmenüs (wo medizinisch passend), plus Lebensmittelabfallmanagement.
- Beschaffung umstellen: Ausschreibungen mit Lebenszyklus Kosten und Kriterien wie Reparierbarkeit, Ersatzteilverfügbarkeit, Rücknahmesysteme, Mehrweg Optionen.

6.2.3. Langfristig 3–10+ Jahre

Krankenkassen	Leistungserbringer
<ul style="list-style-type: none">■ Systemische Anreizarchitektur etablieren: Klimafreundlichkeit als Bestandteil von „Value“: Qualität + Patientenergebnis + Kosten + Klima. Das erfordert dauerhafte Indikatorensets und Datenintegration (Abrechnung, Qualität, Einkauf).■ Lieferketten-Transparenz skalieren: Vertragsanforderungen für Produkt Footprints, Rücknahmepflichten, zirkuläre Liefermodelle („product as a service“) – gemeinsam mit Einkaufsgemeinschaften und öffentlichen Trägern.	<ul style="list-style-type: none">■ Infrastruktur-Transformation: Wärmewende in Kliniken, erneuerbare Energie, klimaresiliente Gebäude; Zero Emission Logistik und Fuhrparks.■ Klinische Pfade „low carbon by design“: Leitlinien, QI Programme und Ausbildung integrieren systematisch Ressourcen- und Emissionsperspektive.

7. Literatur

1. Health Care Without Harm. Health care climate footprint report, 2019. <https://global.noharm.org/media/4370/download?inline=1>
2. Pichler P et al. International comparison of health care carbon footprints. *Environ. Res. Lett.* 2019; 14 064004
3. Eckelman, M. & Sherman, J. (2016). Environmental impacts of the U.S. health care system. *PLOS ONE*.
4. Davies M et al. Five years of a greener NHS: progress and forward look. 2025, <https://www.england.nhs.uk/long-read/five-years-greener-nhs-progress-forward-look/>
5. Liang J, Wu R, Bi P et al. Carbon footprint of the Chinese healthcare service: An environmentally extended input–output analysis. *PLOS Medicine*, September 2025, DOI: 10.1371/journal.pmed.1004738
6. Lashae, F. et al. (2019/2020). Quantifying hospital services by carbon footprint. *Resources, Conservation & Recycling*
7. Kouwenberg LHJA, Cohen ES, Hehenkamp WJK et al. The Carbon Footprint of Hospital Services and Care Pathways: A State-of-the-Science Review. *Environ Health Perspect.* 2024 Dec;132(12):126002. doi: 10.1289/EHP14754.
8. Begum H, Gray WK, Simpson RM et al. Carbon emissions from clinical activities by speciality in secondary and tertiary care in England: an exploratory cross-sectional analysis of routine administrative data. *The Lancet Regional Health - Europe*, Volume 54, July 2025, 101333, <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2025.101333>
9. Liang J, Wu R, Bi P et al. Carbon footprint of the Chinese healthcare service: An environmentally extended input–output analysis. *PLOS Medicine*, September 2025, DOI: 10.1371/journal.pmed.1004738
10. Bates DW, Levine DM, Salmasian H. The Safety of Inpatient Health Care. *N Engl J Med* 2023;388:142-153, DOI: 10.1056/NEJMsa2206117
11. Choosing Wisely. <https://www.choosingwisely.org/>
12. Braithwaite, J., Glasziou, P. & Westbrook, J. The three numbers you need to know about healthcare: the 60-30-10 Challenge. *BMC Med* 18, 102 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12916-020-01563-4>
13. Barratt AL, Bell KJ, Charlesworth K, McGain F. High value health care is low carbon health care. *Med J Aust.* 2022 Feb 7;216(2):67-68. doi: 10.5694/mja2.51331. Epub 2021 Nov 14. PMID: 34699070; PMCID: PMC9299213.
14. Zhang X, Albrecht K, Herget-Rosenthal S et al. Carbon footprinting for hospital care pathways based on routine diagnosis-related group (DRG) accounting data in Germany: An application to acute decompensated heart failure. *Journal of Industrial Ecology*, 2022: Pages 1528-1542
15. Health Care Without Harm. Health care climate footprint report, 2019. <https://global.noharm.org/resources/health-care-climate-footprint-report#:~:text=lf%20the%20global%20health%20care,Harm%20in%20collaboration%20with%20Arup>
16. Pichler P et al. International comparison of health care carbon footprints. *Environ. Res. Lett.* 2019; 14 064004
17. NHS. Delivering a net-zero national health services. 2020. <https://www.england.nhs.uk/greenernhs/wp-content/uploads/sites/51/2020/10/delivering-a-net-zero-national-health-service.pdf>

18. NHS. 2025, NHS England » [Five years of a greener NHS: progress and forward look](#)
19. LLP. Building net zero into NHS procurement – the Supplier Roadmap. [Link to PowerPoint Presentation](#)
20. Green Deal Duurzame Zorg - Vergroen de zorg!. 2022. <https://www.government.nl/topics/sustainable-healthcare/more-sustainability-in-the-care-sector>
21. Green deal Duurzame Zorg, Explanation of the theme [Zugriff am 15.1.2026]
22. The Danish regions' strategy for sustainable hospitals, Healthcare Denmark, 2024: <https://healthcaredenmark.dk/news-publications/publications/the-danish-regions-strategy-for-sustainable-hospitals/>
23. Danish regions. 2024. 2-pager-the-danish-regions-strategy-for-sustainable-hospitals-from-2024.pdf
24. Danish Medicines Agency. 2024. „Ab dem 1. Januar 2025 ist die Wiederverwendung von medizinischen Einwegprodukten erlaubt.“ <https://laegemiddelstyrelsen.dk/da/nyheder/2024/per-1-januar-2025-er-det-tilladt-at-genbruge-medicinsk-engangsudstyr/>
25. The Capital Region of Denmark. Environmental Friendly Hospitals and Institutions, 25. August 2022. <https://www.regionh.dk/english/Climate-and-environment/Environmental%20Friendly%20Hospitals%20and%20Institutions/Pages/default.aspx>
26. Australian Centre for Disease Control. National Health and Climate Strategy. Full report, 2023. https://www.cdc.gov.au/system/files/2025-10/national-health-and-climate-strategy_0.pdf
27. NSW Health. Net Zero Roadmap. 2025-2030. <https://www.health.nsw.gov.au/netzero/roadmap/Publications/net-zero-roadmap.pdf>
28. aktuelle Webseiten hierzu sind aufgrund der aktuellen politischen Aussichtung als „archived“ gekennzeichnet und nicht aufrufbar
29. The White House. June 30, 2022. FACT SHEET: Health Sector Leaders Join Biden Administration's Pledge to Reduce Greenhouse Gas Emissions 50% by 2030. <https://bidenwhitehouse.archives.gov/briefing-room/statements-releases/2022/06/30/fact-sheet-health-sector-leaders-join-biden-administrations-pledge-to-reduce-greenhouse-gas-emissions-50-by-2030/>
30. Scottish Government. NHS Scotland climate emergency and sustainability strategy: 2022-2026. <https://www.gov.scot/publications/nhs-scotland-climate-emergency-sustainability-strategy-2022-2026>
31. Centre for Sustainable Healthcare. NHS Scotland Sustainability Strategy Resources and Support. <https://sustainablehealthcare.org.uk/services/nhs-scotland-sustainability-strategy-resources-and-support/>
32. Naturvardsverket. Sweden's Climate Act and Climate Policy Framework. <https://www.naturvardsverket.se/en/international/swedish-environmental-work/swedens-climate-act-and-climate-policy-framework/>
33. Innovations- och kemiindustrierna i Sverige. Roadmap for fossil-free competitiveness, https://www.ikem.se/fragor-vi-driver/fardplan/?utm_source=chatgpt.com
34. Nordic Center for Sustainable Healthcare. Nordic Know-How 2020. Best practices of sustainable healthcare in the Nordics. https://nordicshc.org/images/Nordic_know-how_2020_Nitrous_Oxide_2.pdf
35. Sykehusinnkjøp. Sykehusinnkjøp mit überarbeiteter Umweltpolitik. <https://www.sykehusinnkjop.no/nyheter/nyheter-2021/sykehusinnkjop-med-revidert-miljopolitik/>

36. Keil M, Frehse L, Hagemeister M et al. Carbon footprint of healthcare systems: a systematic review of evidence and methods. *BMJ Open*. 2024 Apr 30;14(4):e078464. doi: 10.1136/bmjopen-2023-078464
37. Liang J, Wu R, Bi P et al. Carbon footprint of the Chinese healthcare service: An environmentally extended input–output analysis. *PLOS Medicine*, September 2025, DOI: 10.1371/journal.pmed.1004738
38. Begum H, Gray WK, Simpson RM et al. Carbon emissions from clinical activities by speciality in secondary and tertiary care in England: an exploratory cross-sectional analysis of routine administrative data. *The Lancet Regional Health - Europe*, Volume 54, July 2025, 101333, <https://doi.org/10.1016/j.lanep.2025.101333>
39. Sack F, Irwin A, Raymond I. et al. Healthcare-related carbon footprinting—lower impact of a coronary stenting compared to a coronary surgery pathway. *Front. Public Health*, 2024, <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1386826>
40. Braithwaite J, Smith CL, Leask E et al. Strategies and tactics to reduce the impact of health-care on climate change: systematic review. *BMJ* 2024; 387 doi: <https://doi.org/10.1136/bmj-2024-081284>
41. Pickles K, Haas R, Guppy M et al. Clinician and health service interventions to reduce the greenhouse gas emissions generated by healthcare: a systematic review. *BMJ Evid Based Med*. 2024 Sep 20;29(5):300-312. doi: 10.1136/bmjebm-2023-112707
42. Seppänen AV, Or Z. A Scoping Review of Interventions to Reduce the Environmental Footprint of Healthcare. *Value in Health*, Volume 28, Issue 7, 1110 – 1125, DOI: 10.1016/j.jval.2025.01.021
43. BegumH, Gray WK, Simpson RM et al. Carbon emissions from clinical activities by speciality in secondary and tertiary care in England: an exploratory cross-sectional analysis of routine administrative data. *The Lancet Regional Health - Europe*, Volume 54, July 2025, 101333, <https://doi.org/10.1016/j.lanep.2025.101333>
44. Thiel, C.L., Mehta, N., Sejo, C.S. et al. Telemedicine and the environment: life cycle environmental emissions from in-person and virtual clinic visits. *npj Digit. Med*. 6, 87 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41746-023-00818-7>
45. van der Zee C, Chang-Wolf J, Koopmanschap MA, van Leeuwen R, Wisse RP. Assessing the Carbon Footprint of Telemedicine: A Systematic Review. *Health Serv Insights*. 2024 Aug 11;17:11786329241271562. doi: 10.1177/11786329241271562
46. Vartiainen V, Woodcock AA, Wilkinson A, Janson C, Björnsdóttir U, Haahtela T, Lehtimäki L. Thoughtful prescription of inhaled medication has the potential to reduce inhaler-related greenhouse gas emissions by 85. *BMJ Open Respir Res*. 2024 Sep 1;11(1):e001782. doi: 10.1136/bmjresp-2023-001782.
47. Vartiainen V, Janson C, Hisinger-Mölkänen H, Lehtimäki L, Wilkinson A. Trends in inhaler use and associated carbon footprint: a sales data-based study in Europe. *BMJ Open Respir Res*. 2025 Sep 1;12(1):e002424. doi: 10.1136/bmjresp-2024-002424.
48. Mauer N, Béatrice D, Panteli D. How can health care facilities reduce their environmental footprint and contribute to more sustainable health systems? [Internet] Copenhagen (Denmark): European Observatory on Health Systems and Policies; 2025. (Policy Brief, No. 68.)
49. Seppänen AV, Or Z. A Scoping Review of Interventions to Reduce the Environmental Footprint of Healthcare. *Value in Health*, Volume 28, Issue 7, 1110 – 1125, DOI: 10.1016/j.jval.2025.01.021

50. Nørby Lyhne C, Bjerrum M, Hammerich A. et al. Interventions to Prevent Potentially Avoidable Hospitalizations: A Mixed Methods Systematic Review. *Front. Public Health*, 11 July 2022, Volume 10 - 2022 | <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.898359>
51. NHS England: 10,000+ people avoid hospital admission thanks to new health approach. [NHS England » 10,000+ people avoid hospital admission thanks to new health approach](#)
52. Seibold EL, Wachtendorf LJ, Needham MJ et al. Impact of desflurane removal from the operating room on carbon dioxide emissions at a tertiary academic medical centre: a retrospective cohort study. *Br J Anaesth*. 2025 Dec;135(6):1635-1644. doi: 10.1016/j.bja.2025.05.031.
53. Schwiethal A, Treskatsch S, Michael J et al. The Power of Education to Reduce the Carbon Footprint of Volatile Anesthetics in Clinical Practice. *Anesth Analg*. 2025 Oct 1;141(4):868-875. doi: 10.1213/ANE.00000000000007375
54. Patel KH, Ruskin KJ. Is environmental sustainability compatible with patient safety? *Curr Opin Anaesthesiol*. 2025 Dec 1;38(6):748-753. doi: 10.1097/ACO.0000000000001590.
55. Evliya Felek BN, Karadağ Erkoç S et al. Impact of waste segregation training on medical and recyclable waste in an operating theater a quasi experimental study. *Sci Rep*. 2025 May 26;15(1):18430. doi: 10.1038/s41598-025-02797-z.
56. Welsch L, Friedrich-Rust M, Tal A et al. Cutting waste in endoscopy: a multicentre observational study in the German healthcare system. *Gut*. 2025 Nov 10;74(12):1989-1994. doi: 10.1136/gutjnl-2024-333401. PMID: 40473397
57. Chowdhury A, Hillier-Smith R, Imran H, Iqbal R, Colaço HB. Carbon footprint reduction in shoulder surgery by the rationalisation of single-use convenience packs. *Shoulder Elbow*. 2025 Aug 19:17585732251364390. doi: 10.1177/17585732251364390.
58. McGrath N, Waldron C, Farragher A, Walsh C, Polisena J. Safety, cost and environmental impact of reprocessing high risk single-use medical devices: a systematic review and meta-analysis. *GMS Hyg Infect Control*. 2025 Jun 6;20:Doc25. doi: 10.3205/dgkh000554.
59. Dohmen J, Lessau M, Schmitz M et al. Recycling von chirurgischen Einweginstrumenten – lohnt sich das? [Recycling of Disposable Surgical Instruments - Is It Worth It?]. *Zentralbl Chir*. 2023 Aug;148(4):329-336. German. doi: 10.1055/a-2122-7519.
60. Walters H, Bowden K, Limphaibool N. Reducing the carbon footprint of radiology through automatic workstation shutdown protocols. *Clin Radiol*. 2024 Nov;79(11):e1284-e1287. doi: 10.1016/j.crad.2024.07.022.
61. John J, Collins M, O'Flynn K, Briggs T, Gray W, McGrath J. Carbon footprint of hospital laundry: a life-cycle assessment. *BMJ Open*. 2024 Feb 28;14(2):e080838. doi: 10.1136/bmjopen-2023-080838
62. Harrison L, Herrmann A, Quitmann C et al. Effects of a cafeteria-based sustainable diet intervention on the adherence to the EAT-Lancet planetary health diet and greenhouse gas emissions of consumers: a quasi-experimental study at a large German hospital. *Nutr J*. 2024 Jul 18;23(1):80. doi: 10.1186/s12937-024-00981-x.
63. Sadler I, Bauer A, Kassam S. How Sustainable Are Hospital Menus in the United Kingdom? Identifying Untapped Potential Based on a Novel Scoring System for Plant-Based Provisions. *J Hum Nutr Diet*. 2025 Feb;38(1):e70019. doi: 10.1111/jhn.70019.
64. van der Zee C, Chang-Wolf J, Koopmanschap MA, van Leeuwen R, Wisse RP. Assessing the Carbon Footprint of Telemedicine: A Systematic Review. *Health Serv Insights*. 2024 Aug 11;17:11786329241271562. doi: 10.1177/11786329241271562.

65. Faizan M, Han C, Lee SW. Policy-Driven Digital Health Interventions for Health Promotion and Disease Prevention: A Systematic Review of Clinical and Environmental Outcomes. *Healthcare*. 2025; 13(18):2319. <https://doi.org/10.3390/healthcare13182319>
66. Thiel CL, Mehta N, Sejo CS, Qureshi L, Moyer M, Valentino V, Saleh J. Telemedicine and the environment: life cycle environmental emissions from in-person and virtual clinic visits. *NPJ Digit Med*. 2023 May 9;6(1):87. doi: 10.1038/s41746-023-00818-7
67. Savoldelli A, Landi D, Rizzi C. Exploring the Environmental Impact of Telemedicine: A Life Cycle Assessment. *Stud Health Technol Inform*. 2024 Apr 26;313:81-86. doi: 10.3233/SHTI240016
68. Gogia SB, Maeder A, Mars M, Hartvigsen G, Basu A, Abbott P. Unintended Consequences of Tele Health and their Possible Solutions. Contribution of the IMIA Working Group on Telehealth. *Yearb Med Inform*. 2016 Nov 10;(1):41-46. doi: 10.15265/IY-2016-012.
69. Rayan RA. Pharmaceutical effluent evokes superbugs in the environment: A call to action. *Biosaf Health*. 2023 Oct 29;5(6):363-371. doi: 10.1016/j.bsheal.2023.10.005.
70. Fan Q, Hu Y, Huang S et al. Anti-epidemic pharmaceuticals predominantly contributed to PPCPs flux in the Yangtze River during 2020. *Water Res*. 2025 Nov 1;286:124228. doi: 10.1016/j.watres.2025.124228
71. Kaur H, Parascandalo F, Krantzberg G et al. Journey of a pill. *Canadian Family Physician April 2025*; 71 (4) 263-269; DOI: <https://doi.org/10.46747/cfp.7104263>
72. Maestri F, Ferrero A, Rothschild PR, Eymard P, Brézin AP, Monnet D. The carbon footprint and wastage of intravitreal injections. *J Fr Ophtalmol*. 2024 Apr;47(4):104079. doi: 10.1016/j.jfo.2024.104079.
73. Davies JF, McAlister S, Eckelman MJ et al. Environmental and financial impacts of peri-operative paracetamol use: a multicentre international life-cycle assessment. *Br J Anaesth*. 2024 Dec;133(6):1439-1448. doi: 10.1016/j.bja.2023.11.053.
74. Mairhofer J, Sangermano K, Morandell G et al. Comparing the CO2 emissions of metered dose inhalers and dry powder inhalers: a cross-sectional environmental impact analysis of asthma and COPD therapies in South Tyrol, Italy. *BMJ Open Respir Res*. 2025 Jun 27;12(1):e002977. doi: 10.1136/bmjresp-2024-002977.
75. Weppner WG, Singh H, Boyd J et al. A Longitudinal Assessment of Greenhouse Gas Emissions From Inhaler Devices in a National Health System. *JAMA*. 2025 Nov 11;334(18):1667-1669. doi: 10.1001/jama.2025.15638.
76. Caron C, Sajwani S, Bateman K et al. Environmentally sustainable opportunities for health systems: Metered-dose inhaler prescribing, dispensing, use and waste at a tertiary academic centre. *Can Pharm J (Ott)*. 2024 Sep 18;157(6):315-323. doi: 10.1177/17151635241268299.
77. Wang LS, Aziz Z, Wang ES, Chik Z. Unused medicine take-back programmes: a systematic review. *J Pharm Policy Pract*. 2024 Sep 9;17(1):2395535. doi: 10.1080/20523211.2024.2395535
78. Vozzola E, Overcash M, Griffing E. An Environmental Analysis of Reusable and Disposable Surgical Gowns. *AORN J*. 2020 Mar;111(3):315-325. doi: 10.1002/aorn.12885
79. Rotaru J, Miller P, McGarry L, O'Byrne JM. Environmental impact of single-use items and their contamination levels in elective orthopaedic surgery. *Surgeon*. 2025 Oct;23(5):296-300. doi: 10.1016/j.surge.2025.07.007.
80. McCance E, Steinbach I, Morris DS. Comparative carbon footprinting study of reusable vs. disposable instruments in cataract surgery. *Eye (Lond)*. 2025 Jun;39(8):1481-1485. doi: 10.1038/s41433-025-03656-x. Epub 2025 Feb 13.

81. Goubil A, Lefèvre K, Couret C et al. Understanding and quantifying the environmental impact of sterile medical devices: a carbon footprint study of single-use electrosurgical scalpels and their reusable alternatives. *BMJ Surg Interv Health Technol*. 2025 Jul 3;7(1):e000348. doi: 10.1136/bmjsit-2024-000348.
82. McGrath N, Waldron C, Farragher A, Walsh C, Polisena J. Safety, cost and environmental impact of reprocessing high risk single-use medical devices: a systematic review and meta-analysis. *GMS Hyg Infect Control*. 2025 Jun 6;20:Doc25. doi: 10.3205/dgkh000554.
83. Peyrottes A, Long-Depaquit T, Pradère B et al. Environmental impact of current endoscopic technology in urological procedures: a systematic review on reusable vs. disposable scopes. *World J Urol*. 2024 Dec 5;43(1):15. doi: 10.1007/s00345-024-05317-2.
84. Ho IK, Carr DV, Coniglio MS, Rodriguez K, Simeonides C, Nunes FA. Recycling in Ambulatory Gastrointestinal Endoscopy, a Single Center Experience. *Am J Gastroenterol*. 2025 Dec 1;120(12):2795-2799. doi: 10.14309/ajg.0000000000003538
85. Hodge A, Wickham H, Florman K, Barrowcliffe G, Tynan A, Patel A, Brill S, Brown J. The patient perspective on the environmental impact of inhalers. *Respir Med*. 2024 Dec;235:107864. doi: 10.1016/j.rmed.2024.107864.
86. Scholz F, Börner N, Schust SA, Schardey J, Kühn F, Renz B, Angele M, Werner J, Guba M, Jacob S. Focus on patient perspectives in climate action policies for healthcare. A German survey analysis on what patients are willing to do. *Front Public Health*. 2024 Nov 26;12:1477313. doi: 10.3389/fpubh.2024.1477313.
87. Beckwith SE, Petit HJ, Sullivan EE, Reyes CB, Gulack BC, Shah AN. Patient Perceptions About the Environmental Impact of Hospitals and Surgical Care. *Am Surg*. 2025 Dec;91(12):2090-2095. doi: 10.1177/00031348251346528.
88. Rothwell E, McElvaney J, Fitzpatrick A et al. Evaluating inhaler technique, patient preferences and opportunities for improvement in hospitals in the UK. *Future Healthc J*. 2024 May 11;11(2):100141. doi: 10.1016/j.fhj.2024.100141. PMID: 38845621
89. Stachura NK, Brar SK, Davidson J et al. Exploring the Knowledge, Attitudes, and Perceptions of Hospital Staff and Patients on Environmental Sustainability in the Operating Room: Quality Improvement Survey Study. *JMIR Perioper Med* 2024;7:e59790
90. Hünninghaus K, Schäfer HC, Plonka M, Vallejo RM, Dobos G, Haller H. Exploring nudging strategies for plant-based dietary choices in hospital patients: a quasi-experimental study. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2025 Jul 1;22(1):86. doi: 10.1186/s12966-025-01793-w
91. Scholz F, Börner N, Schust SA, Schardey J, Kühn F, Renz B, Angele M, Werner J, Guba M, Jacob S. Focus on patient perspectives in climate action policies for healthcare. A German survey analysis on what patients are willing to do. *Front Public Health*. 2024 Nov 26;12:1477313. doi: 10.3389/fpubh.2024.1477313.
92. Ward A, Holmes ME, Ward I, Lokmic-Tomkins Z, East L, Levett-Jones T. Environmental, Social and Governance principles in Australian publicly funded healthcare: an extension of value-based care. *Aust Health Rev*. 2025 Feb;49:AH24296. doi: 10.1071/AH24296
93. Mathes T, Pieper D, Morche J, Polus S, Jaschinski T, Eikermann M. Pay for performance for hospitals. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2019, Issue 7. Art. No.: CD011156. DOI: 10.1002/14651858.CD011156.pub2
94. Chen EH, Fuentes-Afflick E. Sustainability in Action: A Financial Incentive for Trainees Embracing Environmentally Friendly Quality Improvement Projects. *J Grad Med Educ*. 2024 Dec;16(6 Suppl):135-139. doi: 10.4300/JGME-D-24-00059.1.

8. Annex

8.1. Datenbanken zur Klimamodellierung

Für die Modellierung des Klimaimpacts im Gesundheitswesen stehen unterschiedliche, sich ergänzende Datenbanken zur Verfügung. Prozessbasierte Life-Cycle-Assessment-(LCA-) Datenbanken wie ecoinvent oder GaBi liefern detaillierte Emissionsfaktoren für Materialien, Energie, Transporte und einzelne medizinische Produkte und eignen sich besonders zur Bewertung spezifischer Interventionen oder Technologien. Für eine systemische Betrachtung ganzer Versorgungsbereiche oder Behandlungspfade werden hingegen zunehmend environmentally extended input-output-Datenbanken (EEIO) wie EXIOBASE, WIOD

oder EORA genutzt, die Emissionsintensitäten entlang globaler Wertschöpfungsketten abbilden und insbesondere Scope-3-Emissionen der Gesundheitsversorgung erfassen. Da beide Ansätze jeweils methodische Grenzen haben, etablieren sich hybride Modelle als Best Practice, welche EEIO-Daten für das Hintergrundsystem mit LCA-Daten für emissionsintensive Schlüsselprozesse kombinieren. Ergänzt werden diese Emissionsdatenbanken durch Routinedaten des Gesundheitswesens, etwa Abrechnungs-, Leistungs- und Beschaffungsdaten, die eine Skalierung auf reale Versorgungspfade ermöglichen. Durch diese integrierte Nutzung lassen sich Klimaeffekte nicht nur einzelner Technologien, sondern ganzer Versorgungsmodelle belastbar quantifizieren.

Name	Zugang	Umfang
HealthcareLCA Database	Offener Zugang	Gesundheitsspezifische LCA-Daten, z. B. zu Geräten, Verfahren, Arzneimitteln, medizinischen Interventionen, Untersuchungen, Dienstleistungen und Versorgungssystemen
openLCA Nexus	Kostenfrei und kostenpflichtig	Allgemeine LCA-Datenbanken, nicht spezifisch für das Gesundheitswesen
ecoinvent	Kostenpflichtig	LCI-Datensätze für eine Vielzahl von Sektoren
Sphera Product Sustainability (GaBi) Databases	Kostenpflichtig	Umfassende LCA-Datenbanken, überwiegend auf Industriedaten basierend
Swiss Federal Administration LCI Database (BAFU, 2025)	Offener Zugang	Schweizer LCI-Daten für Umwelt- und Nachhaltigkeitsbewertungen
Eora Global Supply Chain Database	Kostenfreie Lizenz für akademische Nutzung an gradverleihenden Hochschulen	Multiregionales Input-Output-Modell mit zugehörigen Umwelt- und Sozialkonten

weiter auf nächster Seite

Name	Zugang	Umfang
EXIOBASE	Offener Zugang	Umweltökonomisch erweiterte multiregionale Supply-, Use- und Input-Output-Tabellen
GLORIA	Offener Zugang	Multiregionale Input-Output-Datenbank, aufgebaut mit der IELab-Infrastruktur
FIGARO	Offener Zugang	EU-weite länderübergreifende Supply-, Use- und Input-Output-Tabellen
GTAP	Kostenpflichtig	Globale ökonomische Datenbank und Modellierungsrahmen mit Umwelt-Erweiterungen
CEDA	Kostenfrei und kostenpflichtig	Umwelt-Datenarchiv, inklusive multiregionalem umweltökonomisch erweitertem Input-Output-Modell
OECD Working Paper (inkl. ICIO-Tabellen)	Offener Zugang	Neuer Ansatz zur Modellierung von Treibhausgasemissionen durch Verknüpfung von Gesundheitsausgaben und multiregionalen Input-Output-Tabellen
WIOD	Offener Zugang	Ökonomische Datenbank mit ICIO-Tabellen sowie Umwelt- und sozio-ökonomischen Satellitenkonten
USEEIO Models	Offener Zugang	Modelle zur Abschätzung potenzieller Umwelt- und Wirtschaftsfolgen der Produktion und des Konsums von Gütern und Dienstleistungen
ADB IO	Offener Zugang	Supply-, Use- und Input-Output-Tabellen für Asien und den Pazifikraum inklusive Umweltwirkungen
SimaPro	Kostenpflichtig	Professionelle LCA-Software
NHS-EQRB	Offener Zugang	Standardisierte Methoden zur Berechnung von Emissionen im NHS (direkte Emissionen, Lieferketten, Pendelverkehr, Reisen; keine Datenbank)

weiter auf nächster Seite

Name	Zugang	Umfang
Climate Impact Checkup Tool	Offener Zugang (kostenfreie Registrierung)	Rechner zur Abschätzung des Treibhausgas-Fußabdrucks von Gesundheitseinrichtungen weltweit
Climatiq	Datenbank offen zugänglich, API-Nutzung kostenpflichtig	Automatisierte Berechnung von CO ₂ -Emissionen und Emissionsfaktoren-Datenbank
GHG Protocol – IPCC GWP Values	Offener Zugang	100-Jahres-Global-Warming-Potential-Werte des IPCC
EyeSustain	Offener Zugang	Globale Allianz augenheilkundlicher Fachgesellschaften zur Förderung nachhaltiger Augenheilkunde
Sustainable Healthcare Coalition	Offener Zugang	Ressourcen wie Publikationen, Fallstudien und Verweise auf externe Materialien

8.2. Vergleich internationaler Gesundheitssysteme zu Net Zero Strategien

Land / System	Net-Zero-Ziel(e)	Wichtige Zwischenziele / Zeitrahmen	Scope-Abdeckung	Governance & Instrumente	Beispiele „High-impact“-Hebel	Aktuelle Kernquellen
England (NHS England)	Net Zero 2040 (direkte NHS-Emissionen) und 2045 (inkl. beeinflusste Emissionen/Lieferkette)	Fortschritt über definierte Zielpfade und regelmäßige Updates im „Greener NHS“-Programm	Explizit NHS Carbon Footprint + Carbon Footprint Plus (inkl. Lieferkette)	„Greener NHS“-Programm, nationale Roadmap/Leitlinien und Fortschrittsberichte	Dekarbonisierung von Gebäuden/Energie, Transport, nachhaltige Beschaffung, klinische Hebel (z. B. Anästhesie/Inhalatoren)	NHS England „Delivering a net zero NHS“ & Programm-Infos (NHS England); Einordnung zu 2040/2045 (health.org.uk)
Niederlande (Sektor: Green Deal Duurzame Zorg 3.0)	Kein einzelnes „NHS-ähnliches“ Zieljahr im Sinne eines Betreiber-Systems; stattdessen sektorweiter Transformationsvertrag	Laufzeit 2023–2026 (Green Deal 3.0)	Schwerpunkt auf sektorweiten Maßnahmen inkl. Beschaffung, Materialien, Emissionen	Multi-Stakeholder-Vereinbarung („Green Deal“) mit gemeinsamen Zielen, Maßnahmenpaketen, Zusammenarbeit & Wissensaustausch	Reduktion Materialverbrauch/Abfall, nachhaltige Beschaffung, Prävention & „sustainable care“ als Systemhebel	Regierung NL Überblick + Green Deal Rahmen (Government.nl)
Dänemark (Fünf Regionen / öffentliche Krankenhäuser)	Regionale Krankenhausagenda; gemeinsame Reduktionsziele	u. a. 75% CO ₂ -Reduktion aus Energie & Transport bis 2030 (gemeinsames Ziel der Regionen)	Stärkerer Fokus auf Betrieb + Beschaffung (Sustainable hospitals/green procurement)	Gemeinsame regionale Krankenhaus-/Nachhaltigkeitsstrategie, regionale Umsetzungspläne	Energieeffizienz/Erneuerbare, nachhaltige Bau-/Laborstandards, Beschaffung als Haupthebel	„Transitioning to a sustainable healthcare sector“ (DK) (Healthcare Denmark)

weiter auf nächster Seite

Land / System	Net-Zero-Ziel(e)	Wichtige Zwischenziele / Zeitrahmen	Scope-Abdeckung	Governance & Instrumente	Beispiele „High-impact“-Hebel	Aktuelle Kernquellen
Australien (national + Bundesstaaten/Regionen)	Strategie zielt auf ein nachhaltiges, resilientes (bis hin zu net-zero-orientiertem) Gesundheitssystem	Umsetzung 2024–2028 (Strategie/Implementation)	Betont sowohl Resilienz/Adaptation als auch Emissionsminderung im Gesundheitssystem	National Health and Climate Strategy + Implementierungsplan (49 Actions)	Energie/Operations, Versorgungsketten & Versorgungsgestaltung (je nach Jurisdiktion)	Australian CDC Strategie (2024–2028) (Australian Centre for Disease Control); Implementation Plan 2024–2028 (PreventionWeb)
USA (HHS-Pledge + sektorale Allianzen)	Viele Organisationen: Net Zero 2050 (Pledge-Logik)	≥50% Emissionsreduktion bis 2030 (Baseline nicht früher als 2008) + jährliche öffentliche Berichterstattung (für Unterzeichnende)	Fokus v. a. auf organisationsbezogene Emissionen (Scope-1/2; teils Scope-3 je nach Programm/Teilnahme)	Freiwillige nationale Selbstverpflichtung (HHS-Pledge) + Lern-/Kooperationsplattform (NAM Action Collaborative)	Energie/Flotten/Anästhesiegase/Abfall & Beschaffung (je nach System), Benchmarking & Transparenz	White House Fact Sheet zur Pledge (The White House); NAM Action Collaborative (NAM)
Schottland (NHS Scotland)	Net-Zero-Health-Service bis spätestens 2040	Strategiezeitraum 2022–2026 mit priorisierten Handlungsfeldern	Betont auch Lieferketten & Reiseemissionen; Verbindung zu klinischen Entscheidungen	Nationale Strategie (Scottish Government/NHS Scotland) mit Prioritäten, Governance und Umsetzungslogik	Beschaffung & Versorgungspfade, Reise/Transport, Energie/Immobilien	NHS Scotland „Climate Emergency and Sustainability Strategy 2022–2026“ (Scottish Government)

weiter auf nächster Seite

Land / System	Net-Zero-Ziel(e)	Wichtige Zwischenziele / Zeitrahmen	Scope-Abdeckung	Governance & Instrumente	Beispiele „High-impact“-Hebel	Aktuelle Kernquellen
Schweden (Rahmen + regionale Praxishebel)	National: Netto-Null 2045 als Klimarahmen; sektorale Roadmaps	Roadmaps-Ansatz: viele Branchenpfade („Fossil Free Sweden“)	Nicht ein einheitliches Gesundheitssystem-Net-Zero-Programm; Kombination aus nationalem Ziel + sektoralen/regionalen Maßnahmen	„Fossilfritt Sverige“ Roadmaps als Transformationsinstrument; Regionen setzen konkrete Technikmaßnahmen um	Beispiel „High impact“: N ₂ O- (Lachgas)-Zerstörungssysteme in Krankenhäusern (breite Installation in Regionen)	Fossil Free Sweden Roadmaps Überblick (Fossilfritt Sverige); N ₂ O-Maßnahmen/Installationen (nordicshc.org)
Norwegen (Helse- og omsorgstjenesten: regionale Gesundheits-trusts/ „health trusts“ + kommunale Dienste)	Netto-Null im Betrieb der Gesundheits-trusts bis 2045; Pfad zu einem nachhaltigen, „low-emission“ Gesundheits- und Pflegesektor bis 2050.	gemeinsames Zwischenziel u. a. 40 % CO ₂ -Reduktion bis 2030 in der spezialisierten Versorgung Roadmap/ „Veikart“ auf Basis nationaler Emissionsanalyse (Bericht 2023; Konsultation 2024)	Ganzheitlicher Ansatz über kommunale und spezialisierte Versorgung; starke Betonung von Scope-3/ Lieferketten als Haupttreiber	Treibhausgasbilanzierung & -budget, „step-by-step“-Vorgehen (Verantwortlichkeiten, Emissionsübersicht, Zielsetzung), und verweist auf digitale/ organisatorische Umsetzungsinstrumente. (Helsedirektoratet) Sykehusinnkjøp HF baut parallel ein harmonisiertes Beschaffungs-/ Lieferanten-Regime („leverandørveikart“), inspiriert vom NHS-Ansatz. (Sykehusinnkjøp HF)	Verlagerung zu niedrig-emittierenden Optionen, Effizienz. (Helsedirektoratet)	Helse-direktoratet: „Roadmap for Sustainable, Low-Emission and Climate-Adapted Health and Care Services“ (PDF, engl. Version). (Helsedirektoratet) Regjeringen. no: „Norway launches climate commitments in the health field“ (Ziele 2045/2050). (Regjeringen.no) Sykehusinnkjøp HF: „Status for veikart for netto null“ (Scope-3-Anteil ~80%, Stand 2025). (Sykehusinnkjøp HF)

8.3. Arzneimittel: Interventionsmatrix

Interventionsfeld	Zentrale Maßnahmen / Beispiele	Erwarteter Klima- & Ressourceneffekt	Kostenwirkung	Patientennutzen & Risiken	Umsetzungsreife
1. Gezielte Verordnung (Deprescribing, Stewardship)	Polypharmazie-Reduktion, Antibiotic Stewardship, Vermeidung von Low-Value-Care	Mittel-hoch (systemweit) durch geringeres Volumen & weniger Folgeereignisse	Meist kostensenkend	Nutzen: weniger Nebenwirkungen & Hospitalisierungen; Risiko: Unterversorgung bei schlechter Steuerung	Hoch
2. Wahl der Applikationsform (i.v. → oral)	Oral statt i.v., ambulant statt stationär bei gleicher Wirksamkeit	Mittel, in einzelnen Pfaden hoch (Material, Verpackung, Pflegezeit)	Kostensenkend	Nutzen: weniger Komplikationen; Risiko: falsche Umstellung bei ungeeigneten Patient:innen	Hoch
3. High-Impact-Produkte (z. B. Inhalatoren)	pMDI → DPI/SMI, Formulary-Steuerung, Reduktion von Dosenverschwendung	Sehr hoch pro Umstellung (Treibgase dominieren Footprint)	Meist kostenneutral bis senkend	Nutzen: oft gleiche Kontrolle; Risiko: Fehlanwendung ohne Schulung	Sehr hoch
4. Vermeidung von Arzneimittelverschwendung	Angepasste Abgabemengen, Unit-Dose-Systeme, Bestandsoptimierung	Mittel (systemweit)	Kostensenkend	Nutzen: weniger Fehlmedikation; Risiko: höherer Organisationsaufwand	Hoch
5. Rücknahmesysteme (Takeback)	Apothekenbasierte Rückgabe, Patient:innen-Information	Mittel (weniger Umweltbelastung, begrenzter direkter CO ₂ -Effekt)	Geringe Zusatzkosten	Nutzen: weniger Umwelt- & Vergiftungsrisiken; Risiko: gering	Mittel-hoch
6. Wiederverwendung / Re-dispensing	Wiederabgabe ungeöffneter, sicher gelagerter Arzneimittel	Mittel-hoch in geeigneten Settings	Kostensenkend bei teuren Präparaten	Nutzen: Ressourcenschonung; Risiko: hohe Qualitätsanforderungen	Niedrig-mittel (regulatorisch)
7. Nachhaltige Beschaffung & Lieferketten	Umweltkriterien, Abwasserstandards, Scope-3-Anforderungen	Hoch (systemisch), aber indirekt	Kurzfristig neutral/leicht höher	Nutzen: Lieferstabilität & AMR-Prävention; Risiko: Verfügbarkeitsfragen	Mittel
8. Verpackung, Logistik, Kühlketten	Verpackungsreduktion, Mehrweg, konsolidierte Lieferungen	Mittel, gut skalierbar	Häufig kostensenkend	Nutzen: weniger Ausschuss; Risiko: Kühlkettenfehler	Hoch

8.4. Medizinprodukte: Interventionsmatrix

Interventionsfeld	Zentrale Maßnahmen / Beispiele	Erwarteter Klima- & Ressourceneffekt	Kostenwirkung	Patientennutzen & Risiken	Umsetzungsreife
1. Einweg → Mehrweg (Textilien & Standardinstrumente)	Wiederverwendbare OP-Kittel/Abdeckungen, Mehrweg-Instrumente	Hoch – LCAs zeigen deutlich geringere CO _{2e} , Wasser- und Abfallmengen bei Mehrweg (bei ausreichender Nutzungszahl)	Häufig kostenneutral bis senkend (weniger Einweg & Entsorgung)	Gleichwertig bei validierter Aufbereitung	Hoch; Voraussetzung: funktionierende ZSVA/Wäscherei
2. Zertifizierte Wiederaufbereitung von Single-Use-Devices (SUDs)	Reprocessing geeigneter Einmalprodukte (Katheter, ausgewählte Instrumente)	Mittel–hoch, stark produktabhängig	Potenziell kostensenkend bei teuren Devices	In Reviews keine signifikanten Sicherheitsunterschiede, aber hohe QA-Anforderungen	Mittel; regulatorisch & haftungsrechtlich anspruchsvoll
3. Verlängerung des Produktlebenszyklus	Reparatur, Wartung, Refurbishment, längere Nutzungsdauer	Mittel–hoch, da Herstellung oft Hauptemissionstreiber	Häufig kostensenkend	Neutral, wenn Wartung/Prüfung standardisiert	Mittel; benötigt Asset- & Lifecycle-Management
4. Pack- & Set-Rationalisierung	Entfernen unnötiger Items aus OP-/Prozedursets	Hoch bei Hochvolumen-Eingriffen	Kostensenkend	Neutral bei klinischem Co-Design	Sehr hoch; schneller Quick Win
5. Optimierung ZSVA & Aufbereitung	Bessere Auslastung, energieeffiziente Sterilisation, Logistikoptimierung	Mittel, aber zentraler Enabler für Mehrweg	Meist kostensenkend langfristig	Positiv (stabile Prozesse)	Mittel; Investitionen & Prozessanpassung
6. Abfallklassifikation & Recycling („Right Waste“)	Reduktion regulierten Abfalls, Recyclingprogramme	Mittel–hoch (Entsorgung emissionsintensiv)	Kostensenkend	Neutral	Hoch; Schulung & klare Trennung nötig
7. Endoskopie: Einweg vs. Mehrweg (kontextabhängig)	Einsatz je nach Infektionsrisiko & Aufbereitungskapazität	Ambivalent, stark prozessabhängig	Kontextabhängig	Potenziell höheres Sicherheitsniveau bei Einweg	Mittel; Entscheidungsrahmen erforderlich
8. Nachhaltige Beschaffung („Low-carbon procurement“)	Anforderungen an Reparierbarkeit, Mehrweg-Design, Rücknahme	Hoch (systemisch)	Kurzfristig neutral/leicht höher	Positiv (Resilienz, Verfügbarkeit)	Mittel; Markt- & Datenverfügbarkeit

8.5. Digitale Interventionen: Interventionsmatrix

Nr.	Referenz (Jahr)	Studientyp	Wirkungsebene	Zentrale Evidenz	Aussagekraft für Klimaimpact	Relevanz für Steuerung
1	Wootton et al., J Telemed Telecare (2020)	Systematic Review	Mobilität, Zugang	Telemedizin reduziert Reisewege deutlich; Effekte abhängig von Substitution	Hoch (Mobilität)	Hoch – Designfrage (ersetzen vs. ergänzen)
2	Holmner et al., PLOS ONE (2021)	LCA / Modellierung	Emissionen	Reisevermeidung dominiert digitale Emissionen	Hoch	Mittel – methodisch, nicht pfadspezifisch
3	Purohit et al., BMJ Open (2024)	Systematic Review	Methodik	Große Heterogenität; Bedarf an Standards	Mittel	Hoch – Mess- und Reportinglücke
4	O'Brien et al., npj Digital Medicine (2023)	LCA	Emissionen	Telehealth meist klimafreundlicher als Präsenz bei Substitution	Hoch	Hoch – klare Designimplikationen
5	Wang et al., Sustainable Prod. & Cons. (2022)	LCA	Ressourcen & Emissionen	IT-Emissionen gering im Vergleich zu Transport	Mittel-hoch	Mittel
6	Connor et al., BJGP (2021)	Empirische Studie	Mobilität	Patiententransporte wesentlicher Emissions-treiber	Hoch	Hoch – Ansatzpunkt Telemedizin
7	Reed et al., JAMA Netw Open (2022)	Beobachtungsstudie	Nutzung & Zugang	Telemedizin senkt Wartezeiten, erhöht aber Kontaktzahlen	Ambivalent	Sehr hoch – Rebound-Risiko

weiter auf der nächsten Seite

Nr.	Referenz (Jahr)	Studientyp	Wirkungsebene	Zentrale Evidenz	Aussagekraft für Klimaimpact	Relevanz für Steuerung
8	Inglis et al., Eur J Heart Failure (2020)	Meta-Analyse	Akutversorgung	Telemonitoring senkt Hospitalisierungen bei HF	Indirekt hoch	Hoch – Vermeidung emissionsintensiver Akutpfade
9	Mallow et al., Telemed & e-Health (2021)	Kohortenstudie	Akutversorgung	Weniger ED-Besuche und Aufnahmen	Indirekt hoch	Hoch
10	Shah et al., Lancet Digital Health (2024)	Commentary	Systemebene	Rebound, Equity, Governance zentral	Konzeptuell hoch	Sehr hoch – politische Steuerung
11	Braithwaite et al., BMJ (2024)	Systematic Review	Systemdesign	Telemedizin wirksam nur eingebettet in Pfad-Reformen	Hoch	Sehr hoch – Integration nötig