

Vorwort

Anfang 2020 haben die Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI) und der Berufsverband Deutscher Anästhesisten (BDA) die Kommission „Nachhaltigkeit in der Anästhesiologie“ gegründet, die ein Positionspapier zum Thema „Ökologische Nachhaltigkeit mit konkreten Handlungsempfehlungen zur Anästhesiologie und Intensivmedizin“ erarbeitet hat. Die Präsidien von BDA und DGAI haben diesen Empfehlungen zugestimmt (1).

In dem dazu erarbeiteten Toolkit werden neben generellen Überlegungen zur Umsetzung von ökologischen Konzepten praktische Vorschläge aufgezeigt, wie diese Empfehlungen zu den folgenden Themen Schritt-für-Schritt umgesetzt werden können:

- A: Medikamente - Reduktion der Treibhausgaswirkungen durch inhalative Anästhetika und Minimierung von Medikamentenverwurf inklusive korrekter Entsorgung.
- B: Sachartikel - Evaluation von Einmal- vs. Mehrwegartikel anhand einiger Beispiele.
- C: Abfallmanagement – 5 Rs des Abfallmanagements und Umgang mit verschiedenen Abfallsorten.
- D: Mobilität - Reduktion des CO₂-Fußabdrucks in den Sektoren Berufsverkehr, Patiententransport und Bildungsreisen.
- E: Energie – Optimierung des Energiehaushalts.
- F: Forschung und Lehre – Verankerung der Thematik in Forschung und Lehre.

Generelle Überlegungen zur Umsetzung

Green Teams:

Es ist sinnvoll, von Anfang an mit einem „Green Team“ zu arbeiten, das sich intensiv mit der Thematik Nachhaltigkeit in der Klinik beschäftigt. Um effizient zu sein, sollte die Kerngruppe nicht zu groß sein. Schlüsselpersonen sind neben Ärzt*innen und Pflegekräften auch Mitarbeitende aus Hygiene, Technik, Einkauf und Management. Bei spezifischen Fragestellungen können gezielt verschiedene Berufsgruppen und deren Expertise eingeholt werden.

Motivation, Schulung:

Gute Information und Schulung, warum eine Veränderung notwendig ist, erhöht die Motivation, aktiv an der Umsetzung dieser Maßnahme mitzuwirken. Es kann vorteilhaft sein, zunächst mit einem umschriebenen und erreichbaren Projekt zu beginnen. Ein gelungenes Projekt, auch wenn es zunächst nur ein kleines war, motiviert für weitere Herausforderungen: **“easy wins”**. Jeder Erfolg darf und soll transparent gemacht und positiv unterstützt werden. **“Champions”** aus den eigenen Reihen, die mit der Umsetzung einer bestimmten Maßnahme betraut werden, können ein Team oft besser motivieren als Vorgesetzte, brauchen aber deren Unterstützung.

Anästhesie, OP oder gesamte Klinik?

Letztendlich muss es Ziel sein, den CO₂-Fußabdruck des Gesamt-Klinikums zu senken. Anästhesie-spezifische Themen wie z.B. der Anästhetika- und Medikamentenverbrauch können durch ein abteilungsinternes **“Green Team”** behandelt werden, z.B. die Auswahl klimaschonender inhalativer Anästhetika und die Reduktion deren Verbrauchs sind relativ einfach zu erreichen und ein **“big win”**. Andere Themen wie Energiemanagement oder Recyclingprogramme müssen multidisziplinär angegangen werden oder können sogar primär im Technischen Betrieb verankert sein (z.B. 100% fremdfinanzierte, flächendeckende Installation von Photovoltaik).

Schritt für Schritt-Vorgehensweise

Für ein erfolgreiches Umsetzen von Ideen ist ein strukturiertes Vorgehen in vier bis fünf Schritten sinnvoll.

- **Ist-Analyse vor Ort**
Wie sieht die Lage zu diesem Thema in meiner Abteilung / Klinik aus? Was ist bereits etabliert? Wie groß sind Verbrauch, Kosten und CO₂-Äquivalenzen? Welche Probleme können antizipiert werden?
- **Umsetzung**
Ideen sammeln, Ansprechpersonen finden, Planung und Durchführung von verbessernden Maßnahmen.
- **Evaluation**
Welche Maßnahmen konnten durchgeführt werden? Wobei gab es evtl. Probleme? Welche Lösungsansätze gab es und wie erfolgreich waren diese? Erneute Analyse: Verbrauch, Kosten, CO₂-Produktion.
- **Planung weitere Schritte**
Welche Schritte sind durchzuführen, um den Erfolg des Projektes zu verbessern? Welche weiteren Aspekte kann ich in das Projekt integrieren? Kann ich ähnliche Maßnahmen in anderen Bereichen der Abteilung / Klinik anregen?
- **Publikation** der Erfahrungen – klinikintern, lokale Medien, relevante Literatur

A) Medikamente

E2: Die Verwendung von Desfluran sollte Fällen vorbehalten bleiben, in denen es medizinisch dringend erforderlich erscheint. Von allen handelsüblichen volatilen Anästhetika hat Sevofluran das geringste Treibhauspotential.

Hintergrund

Alle volatile Anästhetika (VA) und Lachgas sind potente Treibhausgase. Sevofluran und Desfluran zählen zu den Fluorkohlenwasserstoffen (FKW). Isofluran, Enfluran und Halothan haben als Fluorchlorkohlenwasserstoff (FCKW) zusätzlich ozonschädigende Effekte (2,3,4). Die weltweiten Emissionen durch VA lagen 2014 bei 3 Mio. t CO₂-Äquivalent, 80% davon ließen sich allein auf Desfluran zurückführen (2).

Üblicherweise werden die CO₂-Äquivalente mittels GWP₁₀₀, also für einen Zeitraum von 100 Jahren berechnet (3,5,6), um die vollständige atmosphärische Lebensdauer von CO₂ zu erfassen (7). Allerdings findet der treibhauswirksame Effekt der inhalativen Anästhetika innerhalb ihrer spezifischen atmosphärischen Lebensdauer statt, welche für die volatilen Anästhetika deutlich kürzer ist (s. Tabelle 1). Bei der Betrachtung der GWP₁₀₀ wird daher der klimaschädliche Effekt der volatilen Anästhetika innerhalb der nächsten 10-30 Jahre stark unterschätzt. Eine Betrachtung des GWP für den Zeitraum von 20 Jahren kann sinnvoll sein (GWP₂₀), um den Treibhauseffekt darzustellen, der sich innerhalb des relevanten gesellschaftlichen und politischen Handlungszeitraums zur Bekämpfung der Erderwärmung einstellen wird (5).

Ist-Analyse

Ansprechpersonen: Chefarzt*innen, Kollegium (ggf. Survey), Apotheke

- Welche Inhalationsanästhetika werden in der Klinik verwendet?
- Jahresverbrauch und Kosten.
- Was sind die Gründe für die Verwendung verschiedener Anästhetika und Anästhesietechniken im anästhesiologischen Team?

Berechnung der jährlichen CO₂ Emission durch VA

Aus dem Jahresverbrauch der verschiedenen VA lassen sich die Emissionen in CO₂-Äquivalenten (CO₂e) mit Hilfe von folgenden Parametern berechnen (3):

$$\text{Masse [kg]} = \text{Anzahl der Flaschen} * \text{Inhalt [L]} * \text{Dichte [kg/L]}$$

Da VA nur zu einem minimalen Anteil metabolisiert werden, entspricht die jährlich eingekaufte Masse annähernd derjenigen, die bei Verwendung in die Atmosphäre abgegeben wird. Bei Sevofluran bietet es sich an, ein Korrektiv von 5% miteinzuberechnen (8,9):

$$\text{In die Atmosphäre abgegebene Masse Sevofluran [kg]} = \text{eingekaufte Masse [kg]} * 0,95$$

Mit Hilfe der Global Warming Potentiale (GWPs) können daraus nun die hervorgerufenen Emissionen berechnet werden:

$$\text{Emissionen [kg CO}_2\text{e]} = \text{Masse [kg]} * \text{GWP}_{100}$$

	GWP ₁₀₀	GWP ₂₀	Atmosphärische Lebensdauer (Jahre)	Dichte (Kg/l)	Molekulare Masse (g/mol)	Vol% bei 1 MAC
CO ₂	1	1				
Lachgas N ₂ O	298	298	114	1,281	44,01	
Sevofluran	130	440	1,1	1,522	200,05	2
Desfluran	2540	6810	14	1,465	168,04	6
Isofluran	510	1800	3,2	1,496	184,49	1,2

Tabelle 1: Ökologische Charakteristika von inhalativen Anästhetika.
Global Warming Potentiale (GWP) über 100 bzw. 20 Jahre.
Aus: Sulbaek Andersen 2012 (3), Oetzelsel 2019 (5)

Umsetzung

- Schulung des Teams über Treibhausgaseffekte der VA und die unterschiedlichen Dimensionen der CO₂- Emissionen der VA, regelmäßige Thematisierung.
- Konsequente Nutzung von Minimal Flow Anästhesien (siehe auch E1).
- Wenn möglich Recycling Systeme für volatile Anästhetika etablieren (siehe auch E4).
- Desfluran sollte Fällen vorbehalten bleiben, in denen es medizinisch dringend erforderlich erscheint.
- Entsprechendes Vorgehen in SOP verankern.

E3: Die Verwendung von Lachgas sollte vermieden werden, soweit Lachgas nicht medizinisch dringend notwendig erscheint.

Hintergrund

Lachgas (N₂O) hat aufgrund seiner extrem langen atmosphärischen Lebensdauer (114 Jahren) nach Desfluran den zweitgrößten Klimaeffekt und zudem eine ozonschädigende Wirkung (2,3,4). In der modernen Anästhesie sollte von der Verwendung von N₂O abgesehen und für die Verwendung in Geburtshilfe und Notfallmedizin nach adäquaten Alternativen gesucht werden (10).

Ist-Analyse

Ansprechpersonen: Chefarzt*innen, anästhesiologisches Team, geburtshilfliches Team, ggf. Notaufnahme, Apotheke

- Wo wird Lachgas in der Klinik verwendet? Bei welcher Indikation?
- Wie hoch ist der Jahresverbrauch an Lachgas?
- Sind bei zentralen Lachgasversorgungen Leckagen nachweisbar?
- Welche Alternativen sind möglich?

Berechnung der jährlichen CO₂-Emission durch die Verwendung von Lachgas;

Die Mengenangabe auf den Flaschen ist in der Regel bereits in Kilogramm aufgeführt. Bei Kenntnis des Jahresverbrauches lassen sich die durch N₂O verursachten Emissionen berechnen:

$$\text{Emissionen [kg CO}_2\text{e]} = \text{Masse [kg]} \times \text{GWP}_{100}$$

Umsetzung

- Fortbildungen zu Treibhausgaseffekten von Lachgas im Team inklusive dem geburtshilflichen Team und ggf. der Notaufnahme organisieren.

- Alternativen zu Lachgas in der Geburtshilfe / Notfallmedizin eruieren.
- Lachgas in der operativen Anästhesie dringend vermeiden.
- Sollte Lachgas unvermeidbar sein, könnte eine Umstellung von der zentralen Gasversorgung auf Lachgaszylinder sinnvoll sein.

E1: Anästhesien mit volatilen Anästhetika und/oder Lachgas sollten so geführt werden, dass möglichst wenige Anästhetika in die Umwelt abgegeben werden. Dies bedeutet die konsequente Nutzung von Minimal-Flow-Anästhesien.

Hintergrund

Im Steady-State einer Allgemeinanästhesie verdoppeln sich die Emissionen der VA bei einer Verdopplung der Flussrate (5, 6), was durch entsprechende Berechnungen verdeutlicht werden kann. Eine Narkose-Aufrechterhaltung im Minimal-Flow ist daher in jedem Fall sinnvoll (11).

Durch Zusatz von N₂O nehmen die CO₂-äquivalenten Emissionen einer Sevofluran-Anästhesie um das mehr als 15fache zu, bei Desfluran verringern sich die CO₂-äquivalenten Emissionen durch Zusatz von Lachgas hingegen geringfügig.

Ist-Analyse

Ansprechpersonen: Chefarzt*innen, anästhesiologisches Team

- Wie üblich ist die Durchführung von Minimal-Flow-Anästhesien? Ein Survey kann hilfreich sein.
- Was für Gründe bestehen für/gegen deren konsequente Anwendung?
- Besteht Schulungsbedarf?

Berechnungen

Der Verbrauch von VA und deren Emissionen bei unterschiedlichem Frisch Gas Flow (FGF) im Steady-State kann berechnet werden (6).

Detaillierte Rechenschritte sind im Anhang dargestellt. Zur einfachen Veranschaulichung, welche Emissionen pro Anästhesiestunde bei gegebenen Settings entsteht, sei hier auf 2 Apps verwiesen:

1) <https://anaesthetists.org/Home/Resources-publications/Environment/Guide-to-green-anaesthesia/Anaesthetic-gases-calculator>

2) IOS: <https://apps.apple.com/us/app/yale-gassing-greener/id1152700062>

Android: https://play.google.com/store/apps/details?id=edu.yale.yalegassinggreener&hl=en_US

Diese Berechnung gilt jedoch nur im Steady-State. Wie hoch der Verbrauch von Inhalationsanästhetika beim An- oder Abfluten ist, lässt sich kaum berechnen.

Umsetzung

- Schulungen zur optimalen und sicheren Anwendung der Minimal-Flow-Anästhesie organisieren, in Weiterbildung verankern.
- Konsequente Umsetzung von Minimal-Flow Konzepten, auch beim An- und Abfluten.
- SOP zu Minimal-Flow-Anästhesien erstellen.

E4: Die Entwicklung, Erprobung und Verwendung von Scavenging- und Recyclingsystemen für inhalative Anästhetika sollte vorangetrieben werden.

Hintergrund

Bislang werden VA aus dem OP über konventionelle Absaugeinrichtungen ungefiltert in die Atmosphäre abgegeben. Sie könnten aber auch absorbiert, thermisch, katalytisch oder photochemisch zerstört oder alternativ zur Wiederverwendung aufbereitet werden. Solche Technologien werden derzeit entwickelt oder stehen kurz vor der Marktreife (12, 13).

Ist-Analyse

- Welche Scavenging-Systeme stehen zur Verfügung?
- Gibt es Kooperationsmöglichkeiten mit der Industrie zur Testung solcher Anlagen?

Umsetzung

- In Kooperation mit der Industrie neue Techniken in der Klinik erproben / einführen.
- Erste Erfahrungen in der Erprobung an die Industrie weitergeben. Die (Weiter-) Entwicklung und Testung dieser Systeme fordern.
- Forschung in diesem Bereich unterstützen (siehe Forschung und Lehre).

E5: Bei Total intravenösen Anästhesien und Regionalanästhesien kommt es, anders als bei Inhalations-Anästhesien, nicht zu verfahrensimmanenten direkten Treibhausgasemissionen. Zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen ist die Nutzung dieser Verfahren sinnvoll, sofern sie medizinisch angemessen sind.

Hintergrund

Exakte Daten zu CO₂-Emissionen durch Herstellung, Vertrieb und Vernichtung von in der Anästhesie gebräuchlichen Medikamenten fehlen. Jedoch gibt es Life Cycle Analysen, die CO₂-Emissionen für die Nutzung von Propofol berechnet haben. Somit ist klar, dass die CO₂-Emissionen für Verfahren wie TIVA oder Regionalanästhesien (RA) niedriger liegen als bei inhalativen Anästhesieverfahren (9, 14).

Ist-Analyse

Ansprechpersonen: Chefarzt*innen, anästhesiologisches Team, Medizincontrolling

- Wie häufig wird eine TIVA angewandt, wie häufig RA? Ggf. eine Umfrage hierzu durchführen. Daten können auch über das Controlling ermittelt werden.
- Gibt es Eingriffe, bei denen sich RA anbieten, die bislang in Allgemeinanästhesie durchgeführt werden?
- Welche Argumente sprechen für / gegen TIVA oder RA?

Berechnungen:

Eine exakte Berechnung der CO₂-Emissionen von VA vs. TIVA oder RA setzt ein vollständiges Life Cycle Assessment (LCA) voraus. Dies ist aufwendig und nicht für jede Abteilung einfach durchzuführen. Daten zur Produktion der Medikamente sind bisher nicht bekannt. Näherungsweise kann man die Ersparnisse durch Vermeidung von VA einschätzen (9).

Umsetzung

- TIVA und Regionalanästhesie nutzen, wenn sie medizinisch angemessen sind.
- Diese Techniken schulen und in SOPs verankern.
- LCAs von Firmen einfordern.

E6: Medikamentenverwurf sollte aus ökonomischen und ökologischen Gründen vermieden werden.

Hintergrund

Nicht selten kommt es zu erheblichem Verwurf von Medikamenten. Beispielsweise wird bis zu 20% des Propofol-Verwurfs als vermeidbar eingestuft, wenn eine adäquate Ampullengröße verwendet werden würde. (13). Eine Umstellung von Propofol in 50 und 100mL Ampullen auf 20mL Ampullen kann den Verwurf um über 90% reduzieren (16), was zudem kosteneffizient ist, da verworfene Medikamente circa ein Viertel der Gesamtkosten der Medikamente ausmachen (15).

Aufgezogene Notfallmedikamente werden zu 50% unbenutzt verworfen (17). Dies betrifft Medikamente, die ohne Zeitverzug verfügbar müssen (z.B. Notsectio) oder solche, bei denen es durch Verdünnungsschritte zu Zeitverzögerungen und Dosierungsfehlern kommen kann (z.B. Katecholamine, Kinderanästhesie).

Ist-Analyse

Ansprechpersonen: Ärztliches und pflegerisches Team der Anästhesiologie, Apotheke

Der Medikamentenverwurf einer Abteilung kann abgeschätzt werden, indem alle Medikamentenreste am Ende einer Anästhesie über einen repräsentativen Zeitraum, z.B. eine Woche, gesammelt und auf ein Jahr hochgerechnet werden. Dies dient zur Beantwortung folgender Fragen:

- Wie hoch ist der tatsächliche Verbrauch eines Medikaments?
- Wie groß sind die Reste in den benutzten Spritzen?
- Ist die genutzte Ampullengröße adäquat?
- Was sind die Ist-Kosten pro Ampulle, was kosten andere Ampullengrößen?
- Wie oft werden aufgezogene (Notfall-) Medikamente ungebraucht verworfen?
- Wie hoch sind der jährliche Verbrauch und die Kosten unterschiedlicher Medikamente?
- Besteht Schulungsbedarf?

Umsetzung

- Adäquate Ampullengröße wählen, angepasst an den üblichen Verbrauch
- Antizipatorisch aufgezogene Notfallmedikamente: Fertigspritzen erwägen, die in der Regel über einen längeren Zeitraum haltbar sind (18).

E7: Medikamentenreste müssen fachgerecht entsorgt werden und dürfen nicht ins Abwassersystem der Klinik gelangen. In der Regel erfolgt die fachgerechte Entsorgung von Medikamentenresten der Anästhesie und Intensivmedizin über den zu verbrennenden Restmüll.

Hintergrund

Verworfene Medikamente belasten die Umwelt auf verschiedene Weise. Neben der CO₂-Produktion bei der Herstellung und Verbrennung besteht das Risiko einer Grundwasserkontamination durch unsachgemäße

Entsorgung (16). Medikamentenreste müssen in der Regel verbrannt werden, das Entsorgen in Waschbecken ist ökologisch inakzeptabel (13).

Ist-Analyse

Ansprechpersonen: Ärztliches und pflegerisches Team der Anästhesiologie sowie der operativen Fächer

- Wie werden Medikamentenreste entsorgt? Beobachtungen, Survey

Umsetzung

- Die Medikamentenentsorgung sollte pragmatisch und fehlerresistent organisiert sein. Medikamentenreste können in Zellstofftücher entleert und in den zu verbrennenden Restmüll gegeben werden.
- Vollelektrolytlösungen, in die keine Medikamente zugegeben wurden, können in den Abguss entleert werden. Entsprechende Schulung des Personals kann ggf. erforderlich sein.
- SOP hierzu etablieren.

B) Sachartikel

E1: Der zunehmende Ersatz von Mehrweg- durch Einwegprodukte sollte kritisch hinterfragt werden. Es sollte geprüft werden, an welcher Stelle Mehrwegprodukte eine Alternative darstellen können.

Hintergrund

Hauptfaktoren bei der Entscheidung zwischen Einmal- vs. Mehrwegprodukten sind hygienische Bedenken, Bequemlichkeit und Kosten. Umweltgedanken spielten bislang nur eine untergeordnete Rolle (18). Zu einer wachsenden Anzahl medizinischer Produkte liegen vollständige Life Cycle Assessments (LCA) vor, in denen Umwelteinflüsse und der CO₂-Fußabdruck eines Einmalartikels mit dem eines Mehrwegartikels verglichen werden. In eine LCA wird der vollständige Lebenszyklus eines Produktes einbezogen: wo und wie Rohstoffe gewonnen werden, deren Verarbeitung und die Herstellung des Produktes, Transportwege, der Gebrauch, die Wiederverwertung und die Instandhaltung, Recycling und die Abfallbeseitigung (19). Sie erlauben somit fundierte ökologische Faktoren beim Einkauf mit in die Entscheidung einzubeziehen und mögliche Verbesserungswege aufzeigen. Die Annahme, dass viele der Einmalprodukte aus ökologischer Sicht schlechter abschneiden als Mehrwegartikel, wird durch die Ergebnisse dieser LCAs gestützt.

Beispiele:

- Mehrweg-Medikamentenschalen: zeigen eine deutliche Reduktion an Wasserverbrauch, Kosten und der CO₂-Emissionen im Vergleich zu Einmalprodukten (20).
- Wiederverwertbare Larynxmasken: zeigten bei Treibhausgaseffekt, Wasserverbrauch und Luftverschmutzung insgesamt einen halbierten negativen ökologischen Effekt gegenüber der entsprechend notwendigen Anzahl von Einmal-Larynxmasken (21).
- Einweg-Laryngoskope: bei deren Nutzung liegen die CO₂-Emissionen 16-25fach höher, als bei Mehrweginstrumenten aus rostfreiem Stahl, besonders wenn nicht nur Laryngoskopspatel, sondern auch die Handgriffe Einwegmaterialien sind (22,23).

Ist-Analyse

Informationsquellen

- Einkaufslisten der Materialbeschaffung: alle Artikel, die häufig (z.B. mehr als 10x/Jahr) bestellt werden. Besonders Produkte mit hohen jährlichen Verbrauchszahlen (z.B. Atemwegsequipment, OP-Textilien) werden zu einer deutlichen Reduktion des CO₂-Fußabdrucks beitragen.
- Bestandsaufnahme im OP/Einleitungsräume: welche Sachartikel sind vorhanden, welche hiervon sind Einwegartikel? (Tabelle 2 als Beispiel)
- Mehrwegmaterialien: Instrumente, OP-Textilien, wiederverwendbare Beatmungsschläuche etc. können durch die Bestandslisten der Sterilisationseinheit oder der Wäscherei bestimmt werden.

Berechnungen

Eine annähernde Berechnung der Emissionen durch die Verwendung von verschiedenen Sachartikeln, basierend auf den Umrechnungsfaktoren des *Department for Environment, Food and Rural Affairs*, Großbritannien, ist im Kapitel "Abfallmanagement" beschrieben. Bei Mehrwegartikeln sollten die Emissionen, die bei der Aufbereitung entstehen (Transport, Waschen und Sterilisieren) mitberechnet werden. Zahlen dazu können Wäschereien und die Sterilisationsabteilung liefern (8).

Umsetzung

Ansprechpersonen: Chefärzt*innen, Einkauf, Firmen, Management, Hygiene

- Welche Einwegartikel können sinnvollerweise auf Mehrwegprodukte umgestellt werden?
- Gibt es alternative Mehrwegprodukte? Firmen um Erprobung bitten.
- "Green Teams": Information der betroffenen Teams über die Notwendigkeit und den Nutzen verschiedener Änderungen, Feedback über den Fortschritt, Erfolge bekannt machen.
- Prüfung auf korrekten Umgang / Aufbereitung etc. von neuen Mehrwegprodukten.
- Finanzielle Berechnungen: initiale Anschaffungskosten können sich ggf. schnell amortisieren.

E2: Die Nutzung von Mehrwegtextilien wie sterile Kittel, OP-Hauben und Abdecktücher sollte erwogen werden.

Hintergrund

Beim Erwerb von OP-Textilien spielen vor allem Schutz von Personal und Patienten, Tragekomfort sowie ökonomische und ökologische Aspekte eine Rolle (24). Wiederverwertbare, waschbare Textilien (OP-Kittel, Abdecktücher) weisen einen mindestens 50% geringeren CO₂-Fußabdruck auf als Einmalartikel. Sie verbrauchen 200-300% weniger Energie und 250-330% weniger Wasser (trotz Waschen und Sterilisieren) und produzieren 750% weniger Müll (24). Unterschiede bezüglich Inzidenz von Wundinfekten zwischen modernen OP-Textilien sind nicht nachweisbar; beide Optionen erfüllen die notwendigen Standards. Die in vielen Kliniken entstandenen Engpässe bei OP-Textilien während der Corona-Pandemie bieten ein weiteres Argument für den Einsatz von waschbaren Textilien.

Ist-Analyse

- Werden bereits waschbare OP-Textilien genutzt? Wenn ja, welche?
- Was sind Gründe, weshalb Einwegtextilien verwendet werden?
- Aufbereitungskapazität und Effizienz der Wäscherei eruiieren.

Umsetzung

Ansprechpersonen: Chefärzt*innen, Einkauf, herstellende Industrie, Management, Wäscherei, Hygiene

- Effizienznachweis der Wäscherei erfragen und ggf. verbessern oder die Firma wechseln
- Angebote verschiedener Firmen einholen.
- Finanzielle Berechnungen.
- Produkte testen.

E3: Insbesondere Einwegartikel aus Metall haben eine schlechte CO₂-Bilanz und ein Ersatz durch Mehrwegprodukte geprüft werden.

Hintergrund

Die Gewinnung von Metallen aus Erzen ist extrem energieintensiv und führt zu einem immensen CO₂-Fußabdruck (8,25). Die Nutzung von Einweginstrumenten aus Metall (Laryngoskope, Scheren, Nadelhalter, Pinzetten etc.) sind laut der Deutschen Gesellschaft für Krankenhaushygiene zudem besonders bedenklich, da irrtümliches Einbringen von Einwegprodukten in den Sterilisationsprozess zu einer erhebliche Korrosionsgefährdung der übrigen Instrumente führen kann. Zudem würden zahlreiche Einwegprodukte unter zweifelhaftesten ethischen Bedingungen in Entwicklungsländern hergestellt (26). Einweginstrumente aus Metall sollten daher wo immer möglich durch Mehrweginstrumente ersetzt werden. Wo dies nicht möglich erscheint, ist zumindest ein effektives Recycling sinnvoll (25-27).

Ist-Analyse

Ansprechpersonen: Einkauf, Anästhesiepflege, OP-Team, Sterilisationsabteilung, Hygiene

- Welche Einwegmaterialien aus Metall werden verwendet und in welcher Stückzahl?
- Kapazitäten und Energie-Effizienz der Sterilisationsabteilung eruieren.
- Welche Mehrwegoptionen gibt es?

Umsetzung

- Angebote verschiedener Firmen zu Mehrweginstrumenten / Laryngoskopen etc. einholen.
- Produkte testen.
- Finanzielle Berechnungen.
- Sterilisationsabteilung: Gut gewartete, isolierte Geräte, Verwendung regenerierbarer Energien, voll beladene Autoklaven und die Verwertung von Abwasser und Restwärme etc. können die Effizienz steigern.
- Bis zur Einführung sterilisierbarer Instrumente sollten Recycling Optionen für das Altmetall genutzt werden.

E4: Es ist zu fordern, dass für alle Medizinprodukte durch den Hersteller ein vollständiges Life-Cycle-Assessment des CO₂-Fußabdrucks ausgewiesen wird.

Vollständige LCAs, die einen Vergleich der CO₂-Emission durch Einweg- vs. Mehrwegartikel sowie zwischen Produkten unterschiedlicher Firmen erlauben, sind aufwendig und sicher nicht für jede Abteilung zu jedem Artikel durchführbar. Die Hersteller sollten von uns hier gefordert werden (siehe Kapitel Forschung und Lehre). Durch kollektive und repetitive Nachfrage können wir das Angebot an Mehrwegprodukten erhöhen.

C) Abfallmanagement

E1: Das Konzept der 5 Rs des Abfallmanagements (Reduce, Reuse, Recycle, Rethink und Research) sollten implementiert werden.

E2: In allen OP-Bereichen und Intensivstationen sollte ein funktionierendes Recyclingkonzept von Abfall nachgewiesen werden.

Hintergrund

Etwa 20-30 % des Krankenhausabfalls entsteht im OP, 25% davon in der Anästhesie, wovon ein großer Teil aus Verpackungen besteht (28, 29). Pro Fall generiert ein OP zwischen 7,6 kg und 16,4 kg Abfall (8). Das Konzept der 5 Rs (Reduce, Reuse, Recycle, Rethink, Research) wurde geprägt, um den stetig wachsenden Anfall von Müll zu reduzieren (19).

1) Reduce

Materialsparing zu arbeiten ist die einfachste Methode um den Ressourcenverbrauch zu reduzieren (30). Dies ist an vielen Stellen möglich, ohne die Qualität der Patientenversorgung zu gefährden.

Folgende Maßnahmen seien als Beispiele genannt:

- Beatmungsschläuche: Es ist hygienisch unbedenklich Beatmungsschläuche 7 Tage zu nutzen, sofern individuelle Atemsystemfilter verwendet werden. Ein vorzeitiger Wechsel der Schläuche ist nur bei Verschmutzungen oder infektiösen Patienten sinnvoll (31-34). Die DGAI und die DGKH empfehlen ein solches Vorgehen (35). Zudem existieren waschbare Schlauchsysteme, die an Stelle von Einwegschläuchen verwendet werden können (32).
- Sets, zum Beispiel zur Anlage von ZVKs oder Regionalanästhesien, sowie OP-Siebe: diese enthalten häufig Materialien, die unbenutzt verworfen werden. Auf Anfrage kann vom Hersteller meist kosteneffektiv ein abteilungsspezifisches, bedarfsorientiertes Set gepackt werden (36).
- Anordnen von unnötigen Medikamenten, Untersuchungen oder Tests: sollte kritisch betrachtet werden - wie beispielsweise die präoperative Routineblutentnahme bei gesunden Patienten vor kleinen, elektiven Eingriffen (37).
- Papier/Drucker: doppelseitiges Bedrucken sollte die Standardeinstellung sein.
- Plastikbecher: sollten durch Gläser ersetzt werden und sowohl für Patienten als auch für Mitarbeitende ausschließlich waschbares Besteck und Geschirr Verwendung finden.

2) Reuse

Siehe Kapitel "Sachartikel"

3) Entwicklung von Recyclingkonzepten

Circa 60 % des Abfalls im OP sind potentiell recycelbar. Als Hürden zu effektivem Recycling im OP werden fehlende Behältnisse und Infrastruktur, Unwissenheit, Bequemlichkeit und mangelnde Unterstützung genannt (38).

Da der meiste Verpackungsmüll beim Öffnen des Equipments entsteht bevor Patienten im OP-Saal sind, ist hier eine Kontamination praktisch ausgeschlossen. Eine Möglichkeit, den Recyclingmüll sicher nicht-kontaminiert zu halten, wäre die Recycling-Säcke zu verschließen, sobald die Patienten in den OP gefahren werden (18).

4 & 5) Rethink & Research:

siehe Kapitel Forschung und Lehre

Ist-Analyse

Reduce: Welche der oben genannten Maßnahmen wären denkbar oder sind bereits etabliert? Abteilungs-/OP-interne Analyse, wo darüber hinaus Material eingespart werden kann.

Recycling: Existiert bereits ein Recyclingprogramm? Wenn ja, für welche Rohstoffe? Wie sind die Recyclingbehälter gekennzeichnet? Wohin geht der Recyclingmüll?

Abfallmengen:

- Welche Abfallarten werden generiert? Sind Müllbehältnisse klar gekennzeichnet?
- Wieviel Abfall wird täglich / wöchentlich oder monatlich in der Abteilung / im OP generiert?
 - A) Tatsächliche Abfallsammlung:

Müll über einen bestimmten Zeitraum (z.B. eine Woche) sammeln und nach Rohstoffarten (Papier/Pappe, Plastik, Metall, Glas, non-recycling) sortieren. Wiegen.
 - B) Virtuelle Erhebung:

Verbrauch (und damit indirekt den Abfall) über den Einkauf eruieren. Artikel in verschiedene Rohstoffarten trennen, wiegen.

Ansprechpersonen:

- Einkauf /OP- oder Anästhesieleitung: Bestelllisten. Hilfe bei Müllsammlung.
- Technik / Hauswirtschaft / Abfallbeseitigung: Wieviel Abfall wird generiert? Wo wird der Abfall gelagert, wie und von wem dorthin transportiert, von wem wie oft entsorgt? Gibt es Recyclingfirmen und welche Rohstoffe werden geholt? Wie sind die Kosten der Abfallentsorgung? In welchen Müllverbrennungsanlagen wird welcher Abfall verbrannt?

Berechnungen der CO₂-Emissionen:

Die durch eine tatsächliche Abfallsammlung (8,29) oder virtuelle Erhebung (39) festgestellten Abfallmengen können mit Umrechnungsfaktoren, wieviel CO₂ bei der Produktion bzw. der Verbrennung des Abfalls pro Tonne entsteht, multipliziert werden (siehe Tab. 3 im Anhang).

Durch eine derartige Berechnung werden jedoch nur Näherungswerte zu eruieren sein. Um genaue Daten zu bekommen, müsste dieses Gebiet weiter erforscht werden (siehe Forschung und Lehre).

Umsetzung

Ansprechpersonen: Chefärzt*innen, Pflege, Management, Hauswirtschaft, Hygiene

Dieses Projekt betrifft letztendlich den gesamten OP / Klinik. Allerdings kann es sinnvoll sein, mit einem Pilotprojekt in der Anästhesie zu starten, um Abläufe zu testen.

Reduce

- Beatmungsschläuche routinemäßig 7 Tage nutzen
- Set / Siebe regelmäßig auf unnötige Materialien durchsehen
- Routineabläufe verschlanken und dies in SOPs festlegen (Bsp. PBM, Blutentnahmen, Diagnostik...)
- Standardeinstellungen auf allen Druckern optimieren
- Kooperation mit der Küche bzgl. Geschirr

Recycling

- Klar strukturierte Programme erleichtern die Einführung eines Recyclingprogrammes und erhöhen die Effizienz.

- Im OP können Papier / Kartonagen, Plastik, Glas, Batterien, Druckerpatronen, Elektroschrott und Metall recycelt werden. Recycling kann zudem kosteneffizient sein (40).
- Recyclingbehälter sollten eindeutig gekennzeichnet, bequem zu erreichen und mit klaren Instruktionen versehen sein und was dort gesammelt werden kann. Eine Einbindung lokaler Recyclingfirmen und wiederholte Fortbildungen des Personals sind unabdingbar (18).
- Sollten weiterhin Einweginstrumente verwendet werden, sollten diese zumindest getrennt gesammelt und dem Recycling zugeführt werden.

E3: Es ist zu fordern, dass Verpackungen aus möglichst sortenreinem Plastik hergestellt werden, welches hochwertig recycelt werden kann.

Hintergrund und Umsetzung

OP-Abfall besteht aus bis zu 30% Plastik. Darunter befinden sich Gegenstände aus Polypropylen und PET (Einwegtextilien, blaue Sterilisationsverpackungen für medizinische und chirurgische Instrumente), Polyethylen (Plastikschläuche, Becher, Schalen), Co-Polymere und andere Gemische. Dies ist oft ungenügend oder gar nicht deklariert. Einige Plastiksarten müssen in gesonderter Weise aufbereitet werden, zum Beispiel PVC (19). Recyceltes Plastik benötigt nur 25% der Energie im Vergleich zu primär hergestelltem Plastik (41). Werden Plastiksorgemische recycelt, sind nur minderwertige Produkte zu gewinnen, so dass die Forderung an die Industrie besteht, Verpackungen aus sortenreinem Plastik herzustellen und zu deklarieren.

- Regelmäßig mit Vertreter*innen und Firmen hierzu ins Gespräch kommen.

E4: Gefährliche Abfälle verursachen durch ihre besondere Entsorgungsart sehr hohe CO₂-Emissionen. Es sollte aus ökologischen und ökonomischen Gründen dringend vermieden werden, dass Abfälle unreflektiert und aus Bequemlichkeit als gefährliche Abfälle entsorgt werden, die auch als gewöhnliche Abfälle entsorgt oder recycelt werden können.

Hintergrund

Folgende unterschiedliche Müllarten fallen in Krankenhäusern an: ca. 30% krankenhausspezifischen Abfälle (aus dem Pflege- und Behandlungsbereich), ca. 60% hausmüllähnliche Abfälle und etwa 10% gefährliche Abfälle (davon sind 3% infektiöse und 7% schadstoffhaltige Abfälle wie Chemikalien und Zytostatika) (40,42). Die meisten entsorgungsbedingten Emissionen, mit 1833 kg CO₂e/t, entstehen durch die Verbrennung von klinischem und gefährlichem Müll (8). Infektiöse Abfälle müssen in speziellen Sonderabfallverbrennungsanlagen entsorgt werden, was u.a. zusätzlichen Transport erfordert (43,44). Die weitaus größte Abfallmenge kann aber, bei sorgfältiger Sammlung, Lagerung und Transport, gemeinsam mit Siedlungsabfällen in (lokalen) thermischen Abfallbehandlungsanlagen verwertet werden - ein Großteil hiervon ist zudem potentiell recycelbar (43,44). Deshalb ist zu fordern, verschiedene Abfallsorten akkurat zu trennen und somit den Anteil an klinischem/ gefährlichem Müll so gering wie möglich zu halten (40).

Ist-Analyse

Ansprechpersonen: Müllentsorgung, Recyclingfirmen, Müllverbrennungsanlagen, Abfallbeauftragte

- Welche Müllsorten werden in der Abteilung / Klinik generiert? Wie werden die verschiedenen Sammelbehälter gekennzeichnet?
- Was geschieht mit den verschiedenen Müllsorten? Recycling, Müllverbrennung, Sondermüll?

- Wie groß sind die Mengen des gefährlichen Mülls?

Umsetzung

- Fortbildung im Team zu gefährlichen Abfällen und wie diese zu entsorgen sind.
- Klare Kennzeichnung der Müllbehälter.

D) Mobilität

E1: Da die Mobilität in Bezug auf die Arbeitswege einen wesentlichen Anteil des CO₂-Fußabdrucks von anästhesiologischen Abteilungen ausmacht, sollten die Kliniken alternative Mobilitätskonzepte entwickeln und fördern.

Hintergrund

Drei wichtige Verkehrsbereiche spielen im Gesundheitssektor eine große Rolle: Berufsverkehr, Patiententransport sowie Bildungsreisen.

Die Fahrt zum Arbeitsplatz kann ca. 12-39% des CO₂-Fußabdrucks einer Anästhesieabteilung ausmachen, besonders bei einer typischen PKW-Besetzung von 1-2 Personen. Moderne Mobilitätskonzepte sind notwendig. Hier sind sowohl die öffentliche Infrastruktur als auch die Arbeitgeber im Gesundheitswesen und alle Mitarbeitenden persönlich in der Verantwortung (39).

Optimierungen im Berufsverkehr durch verbesserte Infrastruktur für Fuß- und Radverkehr sowie die Angebote des öffentlichen Personenverkehrs können sekundär auch von Patienten genutzt werden.

Ist-Analyse

Ansprechpersonen: Kollegium, Zuständige für den Dienstplan, Management, Verantwortliche für den öffentlichen Nahverkehr

- Welche alternativen Mobilitätskonzepte werden bereits angeboten? Mit welcher Akzeptanz?
- Welche weiteren Optionen sind in der jeweiligen Infrastruktur zu ermöglichen?
- Was würden sich die Mitarbeitenden wünschen?

Berechnungen der abteilungsinternen CO₂-Emissionen durch den Berufsverkehr:

- Dienstpläne und Entfernungen zwischen Klinik und Wohnort lassen die zurückgelegten Wegstrecken berechnen.
- Anhand der durchschnittlichen CO₂-Emissionen verschiedener Verkehrsmittel kann die individuelle, abteilungsinterne und klinikumsweite CO₂-Emission durch den Berufsverkehr berechnet werden (45).

	Flug	PKW	Zug Fernverkehr	Zug Nahverkehr	Straßen-/Stadt-/ U-Bahn	Linienbus	Fernlinienbus
Treibhausgasemissionen (g/Pkm)	230	147	32	57	58	80	29

Tabelle 4: CO₂-Emissionen durch verschiedene Verkehrsmittel pro km. Pkm = Personenkm

Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#handbuch-fur-emissionsfaktoren-hbefa> (46)

Umsetzung

- Thematisierung und Fortbildung im Team.
- Forderung ausreichend vorgehaltener Fahrradstellplätze für Mitarbeitende. Anbindung der Krankenhäuser an Fahrradschnellwege, Angebot steuerbegünstigter Fahrrad-Leasing-Modellen / Dienstfahrräder durch Arbeitgeber (z.B. jobrad.org) (47).
- Attraktive Jobtickets können den Umstieg auf den öffentlichen Nahverkehr fördern. Eine gute Anbindung der Krankenhäuser an den öffentlichen Nahverkehr ist zu fordern (47).
- Carsharing / Pendelportale / Mitfahrzentralen für Arbeitnehmende könnte gerade in ländlichen Räumen krankenhausintern entwickelt werden.
- E-Ladestationen für E-Fahrzeuge und -Bikes

- Durch vermehrten Ausbau von Homeoffice Angeboten und Videokonferenzen können Arbeitswege verkürzt werden.
- Re-Evaluation nach Umsetzung verschiedener Maßnahmen.

E2: In Bezug auf die präklinische Notfallmedizin und Intensivtransporte sollten Elektromobilität und Telemedizin genutzt werden. Luftgebundene Patiententransporte sollten kritisch hinterfragt werden.

Hintergrund

Im Rettungsdienst sind alternative, nicht-fossile Antriebsarten kaum verbreitet. Ihre Einführung wird in Zukunft umgesetzt werden müssen. Ein besonderes Problem stellt die Luftrettung dar, die besonders hohe Emissionen generiert. Notärztliche Einsatzzahlen ohne ärztliche Interventionen steigen. Telemedizinische Systeme sind eine sinnvolle Alternative, die Personal, Kosten und CO₂-Emissionen senken, da kein Einsatzfahrzeug zusätzlich entsandt werden muss (48).

Ist-Analyse

Ansprechpersonen: Leitende der Rettungsdienste, Leitstellen

- Einsatzfrequenz von Einsatzfahrzeugen und Luftrettung
- Evaluation der notärztlichen Alarmierung, Indikationsstellung
- Modernisierungsstand der Einsatzfahrzeuge
- Möglichkeiten einer telefonischen / digitalen ärztlichen Beratung

Berechnungen der CO₂-Emissionen:

- Anhand von Einsätzen und gefahrenen Kilometern kann analog zum Berufsverkehr die CO₂-Emission berechnet werden.

Umsetzung

- Awareness zu klimafreundlicher Mobilität im Rettungsdienst erhöhen.
- Fahrzeuge mit umweltfreundlicheren Antriebsarten bevorzugen. Politische Unterstützung einfordern.
- Indikation zur Luftrettung besonders kritisch hinterfragen.
- Alarmierungslisten für notärztliche Einsätze überarbeiten. Leitstellen mit entsprechend erfahrener Personal besetzen.
- Telemedizinische Konzepte zur Reduktion von notärztlichen Einsätzen etablieren.

E3: In Bezug auf Kongressteilnahmen und Verbandsarbeit sollte präferentiell der öffentliche Personenverkehr verwendet werden. Inlandsflüge sollten wo immer möglich vermieden werden und sind verbandsintern als Reisekosten nicht erstattungsfähig. In den einzelnen Kliniken sollte auf vergleichbare Regelungen hingearbeitet werden.

E4: Kongress-Streaming, Videokonferenzen und Webinars sollten angeboten werden, um reisebedingte CO₂-Emissionen zu reduzieren.

Hintergrund

Besonders große, internationale Kongresse verursachen allein durch die Anreise der Teilnehmenden erhebliche CO₂-Emissionen (49).

Die Corona-Pandemie hat gezeigt, dass auch mit Webinaren, Webmeetings und web-basierten Konferenzen die Ziele der Veranstaltung erreicht werden können. Wenn die persönliche Anwesenheit notwendig ist,

sollten Bus und Bahnen zum Erreichen des Reiseorts bevorzugt werden. Inlands- und Kurzstreckenflüge sollten aus Klimaschutzgründen nicht mehr über den Arbeitgebende oder Veranstaltende erstattet werden. Die Verlegung der Veranstaltungen ins Internet führt zu einer Abnahme der Reisekosten, im Gegenzug steigen die Kosten für die nicht vermeidbaren Reisen aufgrund der damit geforderten CO₂-Neutralität.

Ist-Analyse

- Gibt es Vorgaben zu Dienstreisen bzw. deren Reisekostenerstattung? Sind die Kosten für Kurzstreckenflüge erstattungsfähig?
- Befürwortung lokaler Fortbildungsveranstaltungen, Prüfung der Notwendigkeit internationaler Reisen?
- Werden online-Angebote unterstützt?

Umsetzung

- Gespräch mit Arbeitgebenden und Personalrat bzgl. Anreizsetzung bei der Vergütung von Dienstreisen: z.B. keine Erstattung von Kurzstrecken- und Inlandsflügen, flexible Erstattungsbedingungen bei Bahnreisen.

E) Energie

E1: Es sollten Konzepte implementiert werden, um den beträchtlichen Energieverbrauch durch Heizung, Lüftung und Klimaanlage im OP- und Intensivbereich zu reduzieren, z.B. durch das Herunterregulieren der Anlagen in ungenutzten Sälen außerhalb der Kernbetriebszeit und Optimierung der Einstellung von Temperatur und Lüftung.

Hintergrund

OP-Bereiche und Intensivstationen sind ressourcenintensive Bereiche mit sehr hohem Energieverbrauch. Heizung, Lüftung und Klimaanlage (HVAC) sind Hauptverursacher (90-99% der Energie im OP-Bereich) auf Grund strikter Vorgaben bezüglich Luftfeuchtigkeit und Temperatur. Ähnliches gilt für die Intensivstation, wo die Heizung als größter Energieverbraucher gilt. HVAC können in ungenutzten Sälen außerhalb der Kernbetriebszeit herunterreguliert werden („night-setback“ oder „unoccupied setback“). Allein durch Optimierung des Energieverbrauchs eines OP-Bereiches kann der CO₂-Fußabdruck um 50% reduziert werden kann (41, 50), was sich auch in deutlichen Kostenersparnissen bemerkbar machen kann (8).

Ist-Analyse

Ansprechpersonen: Chefärzt*innen, Technik

- Wem obliegt die Steuerung der HVAC-Anlage im OP?
- Wie sind diese Systeme geregelt? Individuell im Saal einstellbar oder von extern festgelegte Temperaturen?
- Werden HVAC an Wochenenden und in der Nacht herunterreguliert? Gibt es eine Zeitschaltung für Lüftung und Klimaanlage?
- Lassen sich die Systeme in den einzelnen OP-Sälen unabhängig voneinander regulieren?

Umsetzung

„Night-setback“/„unoccupied setback“ (8, 51)

In ungenutzten Sälen außerhalb der Kernbetriebszeit kann die HVAC herunterreguliert werden und so Energieersparnisse von bis zu 50% ermöglichen. Prinzipiell kommen alle operativen Bereiche für die Umsetzung solcher Maßnahmen in Frage.

- Analyse der Saal-Belegung: Wie lang sind die Kernbetriebszeiten der Operationssäle? Wie viele Notfall-Säle müssen nachts und am Wochenende vorgehalten werden?
- Wahl der Regulation: Uhrzeit-abhängig, Bewegungssensoren, manuelles Hoch- und Herunterfahren der Anlage, ggf. additive Möglichkeiten.
- Definition der höchsten Energieeffizienz verschiedener „setback“ Optionen durch die Technikabteilung. Vereinbarkeit mit Hygieneregulungen prüfen.
- Modernisierungsmaßnahmen: „setback“ kann evtl. bei alten Anlagen nur eingeschränkt umzusetzen sein. Eine Modernisierung der Anlagen kann sich durch die Kostenersparnisse bei geringem Energieverbrauch bereits nach kurzer Zeit amortisieren.
- Bei einem Neubau ist das Einbauen komplexer „setback“ Systeme meist nicht mit nennenswerten Mehrkosten verbunden.
- HVAC-Setback-Systeme müssen die Voraussetzungen der einzelnen Abteilungen berücksichtigen und im Alltag praktikabel sein.

Temperaturmanagement (52, 53)

- Zentrale OP- Temperatur-Regelung statt individueller Schaltung.
- Sorgfältige Wahl des vorgegebenen Temperaturbereiches: Anheben der Temperatur in stark gekühlten Operationssäle oder Kühlen stark beheizter Säle um nur wenige Grad führt zu deutlichen Energie- und entsprechenden Kostenersparnissen.
- Durchdachte OP-Planung: rasche Wechsel zwischen Operationen mit hohen und niedrigen Temperaturanforderungen in einem Saal vermeiden, da solche Temperaturänderungen besonderes energieintensiv sind.
- Technisch optimierte Temperaturregelungsanlagen: fehlerhafte Heizkurven führen zu erheblichen Energieverlusten.
- Temperaturregelungen lassen sich nur im Konsens mit allen Abteilungen besprechen.

Lüftung (54)

- Lüftungsanlagen in OP-freien Zeiten nicht nur herunterregulieren, sondern sogar vollständig abschalten. Diese bereits im europäischen Ausland übliche Praxis ist möglich, ohne hygienische Standards zu verletzen oder die Behandlungssicherheit zu gefährden. In Deutschland gibt es wenige Kliniken, die ein Abschalten der Lüftung bereits umgesetzt haben - dies aber mit positiven Erfahrungen.
- Amortisationszeiten für technische Neuerungen, wie beispielsweise Bewegungsmelder, lagen wegen der drastischen Energie- und Kosteneinsparungen in Einzelfällen bei nur einem halben Jahr.

E2: Alle Abteilungen sollten darauf hinwirken, dass in ihren Krankenhäusern die Möglichkeiten zur Umsetzung von Energiesparmaßnahmen, zur energetischen Sanierung und zur Nutzung erneuerbarer Energien geprüft und möglichst zeitnah umgesetzt werden.

Hintergrund

Der jährliche Energieverbrauch einer größeren Klinik entspricht dem einer Kleinstadt und ist u.a. abhängig von Bauweise, Gebäudesubstanz, -technik und -infrastruktur und der Art der eingesetzten Energieträger (8,50,52). Daher lohnt es sich, über den OP-Bereich hinaus die Energieeffizienz der gesamten Klinik zu betrachten (55). Einige Länder und der Bund stellen finanzielle Fördermittel für Kliniken bereit, die ihren Energieverbrauch durch bauliche und technische Maßnahmen reduzieren möchten (56,57). Bundesweite Zertifizierungssysteme wie das BUND-Gütesiegel „Energiesparendes Krankenhaus“, verschiedene Green Hospital-Ansätze oder das „Blue Hospital“ Zertifizierungssystem können hier Anreize bieten (58-61).

Technische Modernisierungen sind häufig kostenintensiv. Im Energiesektor haben sich daher „Contracting-Systeme“ etabliert, bei denen externe Firmen die Investitionen übernehmen. Diese Summe wird von der Klinik dann über einen längeren Zeitraum über die geringeren Energiekosten abbezahlt. Der Vorteil von „Contracting“ liegt zum einen darin, dass das finanzielle Risiko nicht bei der Klinik selbst liegt, zum anderen verbleibt das Energie-Management bei der Fachfirma, deren Einkommen direkt an die Energieeinsparungen gekoppelt ist (56). Auch eine primäre Energieberatung zu den klinikspezifischen, sinnvollen Investitionsmaßnahmen wird vom Bund und der KfW gefördert (57).

Ganzheitliche Energiemanagementkonzepte nehmen nicht nur die Modernisierung und den Ersatz von existierenden technischen Anlagen in den Fokus, sondern integrieren Ansätze, um Nutzerverhalten zu optimieren und organisatorische Verbesserungen und Automatisierungsprozesse umzusetzen (52,62).

Die noch häufig verwendeten Halogenlampen führen durch hohe Strahlungsenergie zu Wärmeproduktion. Werden sie durch energiesparende LEDs ersetzt, so führt dies nicht nur zu Energieersparnissen um fast 50% bei der Beleuchtung, sondern zusätzlich zu Einsparungen bei der Klimaanlage durch die geringere Wärmeentwicklung. Auch zur Steuerung der Beleuchtung sind Bewegungsmelder sinnvoll (41,52,63).

Ist-Analyse

Bereich Bau und Technik

- Stromverbrauch im OP-Bereich / Klinik pro Jahr in kWh
- Wärmeverbrauch im OP-Bereich / Klinik pro Jahr in kWh
- Zugekaufter Strom aus dem Stromnetz pro Jahr in kWh
- Menge an selbst produziertem Strom (durch ein Blockheizkraftwerk oder durch erneuerbare Energien) pro Jahr in kWh
- Menge an selbst produzierter Wärme (durch ein Blockheizkraftwerk oder durch erneuerbare Energien) pro Jahr in kWh

Der jährliche CO₂-Fußabdruck lässt sich aus dem Jahresverbrauch von OP / Klinik berechnen. (siehe Anhang, Tabelle 5).

Chefärzt*innen, Technik, Management

- Ist ein Energiemanagementkonzept etabliert? Wer ist dafür zuständig?
- Gibt es Bewegungsmeldung für Licht?
- Werden LEDs oder Halogenlampen genutzt?
- Welche elektrischen Geräte werden im OP betrieben, wie effizient sind diese?

Mitarbeitende:

- Welche Möglichkeiten zum Energiesparen werden vom Kollegium im Alltag gesehen?
- Wie kann man Mitarbeitende zum Energiesparen motivieren?

Umsetzung

- Konzept zum Energiemanagement mit Klinikführung treffen: Neuinvestitionen sind umso attraktiver, je mehr Kostenersparnisse sie bedeuten.
- Externe Energieberatung erwägen: Kosten-Nutzen-Berechnungen anstellen, sinnvolle Investitionsgebiete aufzeigen.

E3: Um den CO₂-Fußabdruck der Kliniken in Deutschland zu verringern, ist eine Umstellung auf erneuerbare Energien essentiell.

Hintergrund

Eine klinikeigene Strom- und Wärmeerzeugung durch Photovoltaik kann für viele Kliniken attraktiv sein, da die Investitionskosten für Photovoltaik sinken und insbesondere in den Sommermonaten der Anteil an zugekauftem Strom deutlich gesenkt werden kann. Für die Installation einer solchen Anlage können sowohl Dachflächen der Klinik als auch angrenzender Gebäude (Verwaltung, Parkhaus, Fassaden) dienen. Der Stromverbrauch der Akut-Krankenhäuser ist so hoch, dass selbst bei Nutzung sämtlicher Dachflächen der Strom vollständig selbst verbraucht wird. Dadurch ist die Installation von Photovoltaik in den allermeisten Fällen wirtschaftlich. Auch für Kliniken mit Blockheizkraftwerk (BHKW) kann Photovoltaik eine sinnvolle Option sein, da in den Sommermonaten die bei der Stromproduktion anfallende Wärme nicht genutzt werden kann und so die Effizienz sinkt. Stromproduktion aus Erdgas in BHKWs sollte nur als Übergangstechnologie betrachtet werden, bis der vollständige Energiebedarf aus erneuerbaren Energien gedeckt werden kann (62). Andere regenerierbare Energien sind Geothermie oder Holzschnitzelheizungen (56). Auch BHKWs können mit erneuerbaren Energien betrieben werden und damit ihren CO₂-Fußabdruck noch weiter senken (64). Es existieren vielzählige Förderprogramme, die eine Eigenstromerzeugung durch Einspeisevergütungen oder auch Investitionskostenzuschüsse unterstützen (52), auch eine vollständige Fremdfinanzierung ist möglich, ggf. mit Modellen unter Beteiligung von Bürger*innen oder Mitarbeitenden.

Ist-Analyse und Umsetzung

- Mit welchen Energieträgern arbeitet die Klinik?
- Erneuerbare Energien zu etablieren kann nicht nur kosteneffektiv sein, sondern auch eine Notfallversorgung der Klinik sicherstellen. Sollten bereits „Contracting“-Verträge zur Stromerzeugung mit externen Firmen existieren, so ist es sinnvoll diese Firmen in die Diskussion miteinzubeziehen.
- Wo können finanzielle Unterstützung für Investitionen zur Installation von regenerativen Energieträgern beantragt werden? Welche Modelle mit vollständiger Fremdfinanzierung sind möglich?

F) Forschung und Lehre

E1: Die Auswirkungen des Klimawandels auf die intensivmedizinische und notfallmedizinische Versorgung und Versorgungskapazitäten sind unzureichend erforscht. Entsprechende Forschungsprojekte sollten entwickelt und gefördert werden.

Hintergrund

Der Klimawandel führt zu einem vermehrten Auftreten von vektorübertragenen Krankheiten, Hitzestress, Naturkatastrophen und Migrationsbewegungen. Diese Effekte zeichnen sich schon jetzt ab, und werden die Intensiv- und Notfallmedizin im 21. Jahrhundert zunehmend prägen (65). Um die Versorgungskapazitäten an solche Trends anzupassen zu können, müssen letztere bestmöglich nachvollzogen und prognostiziert werden. Hierzu fehlt es aktuell an Daten; nicht nur aus den von der globalen Erwärmung bisher am schwersten betroffenen Regionen, sondern auch in Deutschland müssen die zur Verfügung stehenden epidemiologischen Daten im Hinblick auf direkte sowie indirekte Effekte des Klimawandels überprüft werden, auch um die prospektive Erhebung von Daten zum weiteren Verlauf – sowohl im In- als auch im Ausland – zu optimieren.

Ist-Analyse

Die Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf eine mögliche Anpassung der Versorgungsstrukturen in Deutschland ist komplex. Sie enthält sehr viele Unbekannte. Vorrangig ist die Frage, ob das 1,5-Grad-Ziel noch erreicht werden kann, insbesondere vor dem Hintergrund, dass sich die Hinweise mehren, dass das Klima noch viel empfindlicher auf die Zunahme der atmosphärischen Treibhausgase reagieren könnte als bisher angenommen (66).

Umsetzung

Die Abschätzung für die Situation in Deutschland muss interdisziplinär unter Einbindung von Expert*innen aus Klimatologie, Umweltmedizin, Epidemiologie und Public Health erfolgen und darüber hinaus laufend angepasst werden. Dafür notwendig ist die Gründung entsprechender Forschungsbereiche und wissenschaftlicher Netzwerke bzw. die Stärkung und Erweiterung bereits existierender Netzwerke. Die Versorgungskapazitäten müssen angepasst werden an das sich durch den Klimawandel bedingt verändernde Krankheitsspektrum und eine Zunahme bestimmter Erkrankungen. Gleichzeitig müssen die Versorgungsstrukturen selbst überprüft werden im Hinblick auf ihre Klimaresilienz, da die Zunahme von Extremwetterereignissen die Versorgungssicherheit im Hinblick auf Energie, Material, Personal und bauliche Voraussetzungen gefährdet.

E2: Forschungsprojekte in Bezug auf die ökologische Nachhaltigkeit der Anästhesiologie und Intensivmedizin sollten Themen wie Medikamentenauswahl sowie die optimierte Nutzung von volatilen Anästhetika und Medizinprodukten umfassen.

Hintergrund

Die operative Medizin hat einen vergleichsweise großen CO₂-Ausstoß zu verzeichnen. Das liegt zum einen an dem hohen Energieaufwand, der für die Klimatisierungs- und Belüftungssysteme der Operationstrakte betrieben wird (siehe Kapitel 6), zum anderen wirken volatile Anästhetika nach der Ausatmung und der aktuell ungefilterten Abgabe an die Atmosphäre als starke Treibhausgase (siehe Kapitel 2). Des Weiteren können sich sowohl ein hoher Durchsatz an Einwegmaterialien, als auch das zum Teil energieaufwendige Aufbereiten von wiederverwendbaren Utensilien negativ auf die Klimabilanz auswirken (siehe Kapitel B und C).

Derzeit orientiert sich die Auswahl der in Bezug auf Wirkung und Nebenwirkung vergleichbarer Medikamente und Medizinprodukte nicht an ökologischen Kriterien, sondern ausschließlich an ökonomischen Kriterien. Hier sind Industrie und Forschung gefragt, um vollständige Life Cycle Assessments zu allen Medikamenten und Medizinprodukten zu erstellen. Erst auf deren Basis lassen sich wissenschaftlich fundierte, ökologisch sinnvolle Entscheidungen hinsichtlich ihrer Verwendung treffen.

Auch fehlt Forschung zum Thema, wie die Narkoseführung optimiert werden könnte, um die Emissionen durch die Verwendung von VA zu reduzieren.

Ist-Analyse

- Ist die Nachhaltigkeit in der Anästhesie / Intensivmedizin/Notfallmedizin bereits Forschungsthema?
- Welche Projekte wären vorstellbar?
- Welche Kooperationen für derartige Forschungsthemen sind denkbar?
- Sind bereits (internationale) Netzwerke vorhanden?

Umsetzung

Durch die Gründung entsprechender Arbeitsgruppen an Universitäten, Kliniken und in Verbänden zum Thema Klimawandel erhält die Arbeit auf diesem Gebiet Anerkennung als legitimer Forschungsschwerpunkt, wodurch positive Rückkopplungseffekte auf das Interesse des ärztlichen Kollegiums, aber auch Außenstehende zu erhoffen sind. Diese Legitimität vereinfacht auch den Kontakt zu anderen Stellen wie Gebäudeplanung, Abfallwirtschaft, und Einkauf. Durch den hausinternen Austausch können so umfassendere Daten zum Fußabdruck der Anästhesiologie und Intensivmedizin im Haus gewonnen werden.

Für eine Abschätzung der ökologischen Nachhaltigkeit anästhesiologischer Maßnahmen muss der ökologische Fußabdruck der eingesetzten Medikamente und Medizinprodukte verstanden werden. Das beinhaltet die Herstellung, den Transport und die Entsorgung. Derzeit sind beträchtliche Teile der Kosten z.B. die Beseitigung ökologischer Schäden externalisiert und werden nicht durch das Gesundheitssystem finanziert. Für ein wissenschaftlich fundiertes Verständnis ist die Entwicklung interdisziplinärer Kooperationen unter Einbindung von Pharmazie, aber auch der herstellenden Industrie notwendig. Ein weiterer wissenschaftlicher Ansatzpunkt ist die Entwicklung von Instrumenten zur Anreizsetzung im Gesundheitssystem.

E3: Konferenzen, Tagungen und Fortbildungsveranstaltungen der Anästhesiologie und Intensivmedizin sollten ökologisch verantwortlich und CO₂-neutral geplant, organisiert und durchgeführt werden.

Hintergrund

Durch Konferenzen, Fortbildungsveranstaltungen, Kongresse und Tagungen entsteht aufgrund der dafür notwendigen Reisen, Unterkunft und Verpflegung CO₂ (siehe auch Kapitel D). Die Corona-Pandemie hat gezeigt, dass auch mit Webinaren, Webmeetings und web-basierten Konferenzen die Ziele der Veranstaltung erreicht werden können.

Ist-Analyse

- Existieren möglicherweise Vorgaben zur Durchführung oben genannter Veranstaltungen?

Umsetzung

- Veranstaltungen: Für Aufenthalt und Verpflegung vor Ort sollten ökologisch zertifizierte Dienstleistungsunternehmen den Vorzug erhalten.
- Online Veranstaltungen: Entwicklung der entsprechenden Formate in Bezug auf die Lehre, Fort- und Weiterbildung. Die Trägerorganisation (oder die Fakultät) sollte dafür die entsprechende IT-Infrastruktur zur Verfügung stellen.

E4: Nachhaltigkeitsaspekte im Gesundheitswesen sollten integraler Bestandteil der studentischen Ausbildung und ärztlichen Weiterbildung sein. Alle Abteilungen sind aufgefordert, entsprechende Angebote in ihr Aus-, Fort- und Weiterbildungscurriculum zu integrieren.

Hintergrund

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit nehmen zu und werden zunehmend Teil der Aus- und Weiterbildung. Umgekehrt jedoch finden die Auswirkungen ärztlichen Handelns auf den Klimawandel bisher kaum Berücksichtigung.

Ist-Analyse

Chefarzt*ärztin oder Klinikdirektion haben meist auch die Weiterbildungsbefugnis inne, sind bei der jeweiligen Landesärztekammer registriert und damit verantwortlich für die Implementierung in der Weiterbildung vor Ort. Weitere Ansprechpersonen sind die Assistentensprecher*innen, in größeren Einrichtungen auch weiterbildungsbeauftragte Oberärzt*innen, sowie Beauftragte für die studentische Lehre. An medizinischen Fakultäten ist die Curriculumskommission verantwortlich für die Implementierung neuer Inhalte und darüber hinaus in der Lage, insbesondere fächerübergreifende Aspekte zu berücksichtigen. Studierendenvertretungen haben ihrerseits ebenfalls ein Bild von der aktuellen Situation. Die Fortbildungsangebote der jeweiligen Landesärztekammern können Rückschlüsse erlauben, inwiefern die Thematik bereits Berücksichtigung findet.

Um das Thema seiner Relevanz entsprechend abzudecken, muss ärztliches Handeln sowohl in Bezug auf die **Ursachen** als auch auf die **Folgen** des Klimawandels in der Aus-, Fort- und Weiterbildung möglichst vollständig abgebildet sein. Davon sind **alle** Fachgebiete mehr oder minder betroffen, sodass jedes Fachgebiet gefordert ist zu prüfen, ob im jeweiligen Bereich Maßnahmen a) beitragen, den Klimawandel selbst abzuschwächen

(„avoiding the unmanageable“) oder b) mittel- oder langfristig notwendig sind, um die Folgen des Klimawandels („managing the unavoidable“) abzuschwächen. Darüber hinaus sollte diskutiert werden, welche Fachgebiete allgemeingültige Aspekte abdecken können (Medizinethik, Umweltmedizin, Ernährungsmedizin). Für die Berücksichtigung anderer Aspekte im erweiterten ärztlichen Umfeld wie z.B. ökologische Aspekte des technischen Betriebs, baulicher Maßnahmen, ein an Nachhaltigkeitskriterien orientierter Einkauf, Aspekte der Ernährung von Patienten und Mitarbeitenden sollen die Ressourcen für eine curriculare Verankerung geschaffen werden.

Umsetzung

Vorausgesetzt, dass das Wissen bei den aufsichtsführenden Fach- und Oberärzt*innen vorhanden ist, können fachliche Aspekte im jeweiligen klinischen Kontext im Rahmen der täglichen Routine den Mitarbeitenden vermittelt werden. Allgemein verbindliche SOPs können dabei unterstützen. In zentralen Fortbildungen können alle Mitarbeitenden erreicht werden. Berücksichtigt werden sollten Empfehlungen der jeweiligen Fachgesellschaften. Den Leitungen obliegt es, die Abteilung / Klinik strategisch auszurichten auf die arbeitsmedizinischen und die die Patienten betreffenden gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels. Die Curriculumskommission oder ein vergleichbares Gremium des Dekanats legt die Studieninhalte fest. Wichtigste Ansprechpersonen sind Dekane, Vorsitzende der verantwortlichen Gremien sowie studentische Vertretungen, die einer Implementierung Nachdruck verleihen können.

Auch die Entwicklung neuer, web-basierter Lehrformate muss gefordert und gefördert werden. Sie können einen eigenen Beitrag dazu leisten, den CO₂-Fußabdruck des Gesundheitswesens zu reduzieren.

Evaluation:

Generelles:

- Was hat sich verändert? Ein Evaluationszeitraum von 12 Monaten ist sinnvoll, um einen belastbaren Vergleich zu ermöglichen.
- Gab es Probleme bei der Umsetzung und welche Lösungen konnten gefunden werden?
- Welche Ziele wurden bisher noch nicht erreicht? In welchen Bereichen besteht weiterhin Handlungsbedarf und Verbesserungspotential? Wie lassen sich diese Ziele trotz bisheriger Schwierigkeiten noch erreichen?
- Berechnung der CO₂-Ersparnisse, falls möglich.
- Entstanden Mehrkosten oder ergab sich ein finanzieller Benefit?
- Publikation der Erfahrungen in Fachzeitschriften und auf Meetings.
- Was können weitere Projekte sein?

Medikamente:

- Konnte der Verbrauch an inhalativen Anästhetika, v.a. Desfluran und Lachgas, reduziert werden? Um welche Menge ist der Verbrauch gesunken?
- Wurden Alternativen zu Lachgas gefunden, erprobt oder eingeführt?
- Werden Minimal Flow Techniken konsequent genutzt?
- Ist der Anteil an TIVA oder Regionalanästhesie gestiegen?
- Was gibt es Neues aus dem Sektor Scavenging?
- Wieviel Medikamentenverwurf konnte vermieden werden?

Sachartikel:

- Konnten Einwegmaterialien auf Mehrwegprodukte umgestellt werden? Welche und in welcher Dimension?
- Evaluation der Mehrwegartikel - Qualität und Funktionalität im klinischen Gebrauch?

Abfallmanagement:

- Erneute Evaluation der Abfallmengen - real oder virtuell.
- Konnten Artikelzahlen reduziert werden?
- Gibt es Recycling, mit welchem Erfolg?

Energie:

- Hat sich die Energiebilanz des OPs / der Klinik im Jahresrückblick geändert?

Literatur

- 1) Schuster M, Richter H, Pecher S, Koch S, Coburn M. Positionspapier „Ökologische Nachhaltigkeit“ mit konkreten Handlungsempfehlungen zur Anästhesiologie und Intensivmedizin der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin und des Berufsverbandes Deutscher Anästhesisten. *Anästh Intensivmed* 2020;61:329-339. DOI:10.19224/ai2020.329
- 2) Vollmer MK. Modern inhalation anesthetics: potent greenhouse gases in the global atmosphere. *Geophys Res Lett*, 2015. 42: p. 1606-11.
- 3) Sulbaek Andersen MP et al. Medical intelligence article: Assessing the impact on global climate from general anesthetic gases. *Anesth Analg*, 2012. 114(5): p. 1081-5
- 4) Charlesworth M, Swinton F. Anaesthetic gases, climate change, and sustainable practice. *Lancet Planet Health*, 2017. 1(6): p. e216-e217.
- 5) Ozelsel TJ et al. The future is now - it's time to rethink the application of the Global Warming Potential to anesthesia. *Can J Anaesth*, 2019. 66(11): p. 1291-1295.
- 6) Ryan SM, Nielsen CJ. Global warming potential of inhaled anesthetics: application to clinical use. *Anesth Analg*, 2010. 111(1): p. 92-8.
- 7) Wallington TJ et al. Time horizons for transport climate impact assessments. *Environ Sci Technol*, 2011. 45(7): p. 3169-70; author reply 3167-8.
- 8) MacNeill AJ et al. The impact of surgery on global climate: a carbon footprinting study of operating theatres in three health systems. *Lancet Planet Health*, 2017. 1(9): p. e381-e388.
- 9) Sherman J et al. Life cycle greenhouse gas emissions of anesthetic drugs. *Anesth Analg*, 2012. 114(5): p. 1086-90.
- 10) Muret J et al. Environmental impacts of nitrous oxide: no laughing matter! Comment on *Br J Anaesth* 2019; 122:587-604
- 11) Feldman Jm. Managing fresh gas flow to reduce environmental contamination. *Anesth Analg*, 2012. 114(5): p. 1093-101.
- 12) Sherman J et al. Reducing Inhaled Anesthetic Waste and Pollution in Anesthesiology News. 2017, *Anesthesiology News*. p. 12-4.
- 13) Sherman J, McGain F. Environmental Sustainability in Anesthesia. *Pollution Prevention and Patient Safety. Advances in Anesthesia*, 2016. 34: p. 47-61.
- 14) Sherman JD, Barrick B. Total Intravenous Anesthetic Versus Inhaled Anesthetic: Pick Your Poison. *Anesth Analg*, 2019. 128(1): p. 13-15)
- 15) Gillerman RG, Browning RA. Drug use inefficiency: a hidden source of wasted health care dollars. *Anesth Analg*, 2000. 91(4): p. 921-4.
- 16) Mankes RF. Propofol wastage in anesthesia. *Anesth Analg*, 2012. 114(5): p. 1091-2.
- 17) Atcheson CL et al. Preventable drug waste among anesthesia providers: opportunities for efficiency. *J Clin Anesth*, 2016. 30: p. 24-32.
- 18) Axelrod D et al. Greening the Operating Room. *Greening the Operating Room and Perioperative Arena: Environmental Sustainability for Anesthesia Practice. American Society of Anesthesiologists (ASA)*, 2015.
- 19) McGain F et al. Workplace sustainability: the "cradle to grave" view of what we do. *Anesth Analg*, 2012. 114(5): p. 1134-9.
- 20) McGain F et al. The financial and environmental costs of reusable and single-use plastic anaesthetic drug trays. *Anaesth Intensive Care*, 2010. 38(3): p. 538-44.
- 21) Eckelman M et al. Comparative life cycle assessment of disposable and reusable laryngeal mask airways. *Anesth Analg*, 2012. 114(5): p. 1067-72.
- 22) Sherman JD, Raibley LA, Eckelman MJ. Life Cycle Assessment and Costing Methods for Device Procurement: Comparing Reusable and Single-Use Disposable Laryngoscopes. *Anesth Analg*, 2018. 127(2): p. 434-443.
- 23) Sherman JD, Hopf HW. Balancing Infection Control and Environmental Protection as a Matter of Patient Safety: The Case of Laryngoscope Handles. *Anesth Analg*, 2018. 127(2): p. 576-579.
- 24) Overcash M. A comparison of reusable and disposable perioperative textiles: sustainability state-of-the-art 2012. *Anesth Analg*, 2012. 114(5): p. 1055-66.

- 25) MPG. Eiserner Klimaschutz. 2019[accessed Juli2020] <https://www.mpg.de/14112208/metallindustrie-nachhaltig-co2-neutral>.
- 26) Ärzteblatt, D. Einweg in Kliniken: Tausende Tonnen Edelstahl landen im Müll. 2020 [accessed Juli2020] <https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/108566/Einweg-in-Kliniken-Tau>.
- 27) Shelton CL et al. Recycling glass and metal in the anaesthetic room. *Anaesthesia*, 2012. 67(2): p. 195-6.
- 28) McGain F et al. Recycling plastics from the operating suite. *Anaesth Intensive Care*, 2008. 36(6): p. 913-4.
- 29) McGain F et al. An audit of potentially recyclable waste from anaesthetic practice. *Anaesth Intensive Care*, 2009. 37(5): p. 820-3.
- 30) Hutchins Dc, White SM. Coming round to recycling. *BMJ*, 2009. 338: p. b609.
- 31) Hartmann D et al. Microbiological risk of anaesthetic breathing circuits after extended use. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2008. 52(3): p. 432-6.
- 32) McGain F et al. The microbiological and sustainability effects of washing anaesthesia breathing circuits less frequently. *Anaesthesia*, 2014. 69(4): p. 337-42.
- 33) Dubler S et al. Bacterial and viral contamination of breathing circuits after extended use - an aspect of patient safety? *Acta Anaesthesiol Scand*, 2016. 60(9): p. 1251-60.
- 34) Huebner, N.O., et al., Microbiological safety and cost-effectiveness of weekly breathing circuit changes in combination with heat moisture exchange filters: a prospective longitudinal clinical survey. *GMS Krankenhhyg Interdiszip*, 2011. 6(1): p. Doc15.
- 35) DGKH and DGAI, Infektionsprävention bei Narkosebeatmung durch Einsatz von Atemsystemfiltern. *Anästhesiologie & Intensivmedizin*, 2010. 51: p. 831-8.
- 36) Chasseigne V et al. Assessing the costs of disposable and reusable supplies wasted during surgeries. *Int J Surg*, 2018. 53: p. 18-23.
- 37) Roissant R, Coburn M, Zwissler B. Klug entscheiden...in der Anästhesiologie. *Deutsches Ärzteblatt*, 2017. 114(22-23): p. 1120-22.
- 38) McGain F et al. A survey of anesthesiologists' views of operating room recycling. *Anesth Analg*, 2012. 114(5): p. 1049-54.
- 39) Richter H, Weixler S, Schuster M: Der CO₂-Fußabdruck der Anästhesie. Wie die Wahl volatiler Anästhetika die CO₂-Emissionen einer anästhesiologischen Klinik beeinflusst. *Anästh Intensivmed* 2020;61:p154-161.
- 40) ANZCA, Statement on Environmental Sustainability in Anaesthesia and Pain Medicine Practice. Background paper. 2019, Australian and New Zealand College of Anaesthetists: New Zealand.
- 41) Kagoma Y et al. People, planet and profits: the case for greening operating rooms. *CMAJ*, 2012. 184(17): p. 1905-11.
- 42) Umweltbundesamt, Best Practice Municipal Waste Management, in Datenblatt SWSM-08_MED.
- 43) Umweltbundesamt. Thermische Behandlung. Entsorgung von Krankenhausabfällen. 2016 [accessed Juli2020] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/entsorgung/thermische-behandlung#entsorgung-von-krankenhausabfaellen>.
- 44) LAGA, Vollzugshilfe zur Entsorgung von Abfällen aus Einrichtungen des Gesundheitsdienstes, in Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 18. 2015, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA).
- 45) Umweltbundesamt. Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr in Deutschland - Bezugsjahr 2018. 2020 [accessed Juli 2020]; <https://www.umweltbundesamt.de/bild/vergleich-der-durchschnittlichen-emissionen-0>
- 46) <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#handbuch-fur-emissionsfaktoren-hbefa>

- 47) Hergert M, Chlond B. Ökologische und ökonomische Potenziale von Mobilitätskonzepten in Klein- und Mittelzentren sowie dem ländlichen Raum vor dem Hintergrund des demographischen Wandels. Abschlussbericht, in TEXTE 14/2019. 2019, Umweltbundesamt: Dessau-Roßlau.
- 48) Holmner A et al. Carbon footprint of telemedicine solutions--unexplored opportunity for reducing carbon emissions in the health sector. PLoS One, 2014. **9**(9): p. e105040.
- 49) Nathans J, Sterling P. How scientists can reduce their carbon footprint. Elife, 2016.
- 50) McGain F et al. The carbon footprint of treating patients with septic shock in the intensive care unit. Crit Care Resusc. 2018;**20**(4):304-12.
- 51) Love C. Operating Room HVAC Unoccupied Setback Year 2 Outcomes; Quality and Energy Success. (accessed Juli2020)https://cdn.ymaws.com/www.tahfm.org/resource/resmgr/Interlink_2015/Craig_Ayers_-_OR_HVAC_Setbac.pdf
- 52) KGNW, EnergieAgentur. NRW. EN.Kompass Krankenhaus - Projektbericht 2015. In: KGNW, EnergieAgentur.NRW, editors.: Krankenhausgesellschaft Nordrhein-Westfalen e.V. (KGNW); 2015.
- 53) Greening the OR. Guidance Documents. Reston: Greening the OR Initiative, Practice Greenhealth; 2011.
- 54) Kluge S. Raumluftechnik im OP abschalten. kma - krankenhaustechnik. Stuttgart: Thieme; 2013. p. 14-8.
- 55) Graf O. Green Hospital. Mehr als nur Gebäude und Energie. kma - krankenhaustechnik. Stuttgart: Thieme; 2013.
- 56) Hibbeler B, Krüger-Brand HE. Nachhaltigkeit. Das grüne Krankenhaus. Deutsches Ärzteblatt: Deutsches Ärzteblatt; 2013. p. A 1897-902.
- 57) BAFA. Förderkompass. Auf einen Blick: Die Förderprogramme des BAFA. Berlin: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle; 2019.
- 58) Thalmayr M. Blue Hospital. Zertifizierte Nachhaltigkeit. kma - krankenhaustechnik. Stuttgart: Thieme; 2013. p. 6.
- 59) Litke N et al. Green Hospitals. Klimaschutz im Krankenhaus. Deutsches Ärzteblatt; 2020. p. A 544-7.
- 60) BUND-Gütesiegel. Willkommen beim BUND-Gütesiegel „Energie sparendes Krankenhaus“. 2020 [accessed Juli 2020] <http://energiesparendes-krankenhaus.de/>.
- 61) 18.Fraunhofer. Green Hospital - nachhaltige Krankenhauslogistik. Fraunhofer IML; 2020 [accessed Juli2020] https://www.impl.fraunhofer.de/de/abteilungen/b3/health_care_logistics/krankenhauslogistik/green-hospital.html.
- 62) EnergieAgentur. NRW. Effiziente Energienutzung in Krankenhäusern. Nützliche Informationen und Praxisbeispiele. Wuppertal: EnergieAgentur.NRW; 2010
- 63) Tuenge JR. LED Surgical Task Lighting. Scoping Study: A Hospital Energy Alliance Project. U.S. Department of Energy; 2011.
- 64) Quaschnig V. Erneuerbare Energien und Klimaschutz. Hintergründe - Techniken und Planug - Ökonomie und Ökologie - Energiewende. München: Carl Hanser Verlag; 2018.
- 65) Bein T, Karagiannidis C, Gründling M, Quintel M. Neue intensivmedizinische Herausforderungen durch Klimawandel und globale Erderwärmung. <https://doi.org/10.1007/s00101-020-00783-3>
- 66) Palmer T. Short-term tests validate long-term estimates of climate change. Nature **2020**;582(7811):185-86. doi: 10.1038/d41586-020-01484-5 [published Online First: 2020/05/28]

Anhang**Berechnungen von CO₂-Emissionen durch VA bei verschiedenen Flußraten:**

$$\text{Verbrauch volatile Anästhetika [L/h]} = 60\text{min/h} * \text{FGF [L/min]} * 1\text{MAC [\%]}$$

$$\begin{aligned} \text{Verbrauch volatile Anästhetika [kg/h]} = \\ [\text{Verbrauch volatile Anästhetika [L/h]} / 24 [\text{L/mol}]] * \text{molekulare Mass [g/mol]} / 1000 \end{aligned}$$

$$\text{Emissionen [kg CO}_2\text{e/h]} = \text{Verbrauch volatile Anästhetika [kg/h]} * \text{GWP}_{100}$$

Berechnungen von CO₂-Emissionen durch VA bei Kombinationsanästhesien:

Hierbei kann ein Gasgemisch von 60% N₂O und 40% Sauerstoff angenommen werden. Der Verbrauch der volatilen Anästhetika reduziert sich bei Zusatz von Lachgas um circa 60%. Für Kombinationsanästhesien müssen die Emissionen durch Lachgas und durch das volatile Anästhetikum addiert werden.

$$\text{Verbrauch Lachgas [L/h]} = 60\text{min/h} * \text{FGF [L/min]} * 0,6$$

$$\text{Verbrauch volatile Anästhetika [L/h]} = 60\text{min/h} * \text{FGF [L/min]} * 1\text{MAC [\%]} * 0,4$$

$$\begin{aligned} \text{Verbrauch Lachgas [kg/h]} = \\ [\text{Verbrauch Lachgas [L/h]} / 24 [\text{L/mol}]] * \text{molekulare Mass [g/mol]} / 1000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Verbrauch volatile Anästhetika [kg/h]} = \\ [\text{Verbrauch volatile Anästhetika [L/h]} / 24 [\text{L/mol}]] * \text{molekulare Mass [g/mol]} / 1000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gesamtemissionen [kg CO}_2\text{e/h]} = \\ \text{Verbrauch Lachgas [kg/h]} * \text{GWP}_{100} + \text{Verbrauch volatile Anästhetika [kg/h]} * \\ \text{GWP}_{100} \end{aligned}$$

Beispiel Bestandsliste von vorgehaltenen Sachartikeln

Beschreibung	Einweg- artikel	Wieder- verwendbar	Existieren Optionen?	wiederverwertbare ja / nein	Stückzahl / Verbrauch pro Jahr
Monitoring					
Blutdruckmanschetten					
Pulsogxymetersonden					
Druckaufnehmer					
Beatmung					
Masken					
Larynxmasken					
Laryngoskope (Spatel/Handgriffe)					
Beatmungsschläuche					
CO2 Absorber-Behältnisse					
Ambubeutel					
Führungsstäbe					
Textilien					
sterile OP Mäntel					
Jacken					
Abdecktücher					
OP Hauben					
Sets für ZVK / Regionale					
Schalen					
Instrumente					
Sonstiges					
Medikamentenschalen					
Infusionswärmer					
Druckbeutel					
Spitzabwurfbehälter					
Batterien / Akkus					
Bronchoskope					
Lampengriffe					

Neutralelektroden				
-------------------	--	--	--	--

Tabelle 2: Beispiel einer Liste für die Bestandsaufnahme gebräuchlicher Artikel in der Abteilung.

Berechnung der CO₂-Emission durch Herstellung verschiedener Rohstoffe

Material	CO ₂ -Emissionen durch Herstellung (cardle-to-gate) (kg CO ₂ e)
Glas (t)	843
Altmittel (t)	3.567,60
Gemischtes Plastik (t)	3.116,29
Papier (t)	919,4
Pappe (t)	750,26

Tabelle 3: Umrechnungsfaktoren DEFRA

<https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2020>

Bei Kenntnis des Gewichtes eines Rohstoffes eines Sachartikels können anhand dieser Umrechnungsfaktoren die CO₂-Emissionen durch die Herstellung berechnet werden. Die Emissionen, die durch Transport, Benutzung und Entsorgung entstehen, werden hierbei jedoch nicht berücksichtigt.

Umrechnungsfaktoren für den Energieverbrauch in kWh in CO₂-äquivalente Emission

	CO ₂ -äquiv-Emissionsfaktor bezogen auf den Stromverbrauch [g/kWh]	CO ₂ -äquiv-Emissionsfaktor bezogen auf den Wärmeverbrauch [g/kWh]
<i>Strommix aus dem deutschen Stromnetz für das Jahr 2018</i>	512	
<i>Photovoltaik, Solarthermie</i>	0	0
<i>Fernwärme aus Heizwerken (HW)</i>		344,7
<i>Fernwärme aus Heizkraftwerken (HKW)</i>		229,4
<i>Fernwärmemix aus HW und HKW</i>		243,9
Systeme mit Kraft-Wärme-Kopplung		
<i>Gas-BHKW</i>	420,3	195,6
<i>Kohle-HKW-EK</i>	513,6	239,0
<i>Öl-HKW-EK</i>	374,3	174,2
<i>Gas-HKW-EK</i>	285,8	133,0
<i>Müll-HKW-EK</i>	405,3	188,6
<i>Biogas-Gülle-Einspeisung-BHKW</i>	161,3	75,0
<i>Biogas-Nachwachsende Rohstoffe-BHKW</i>	157,3	73,2

Heizwerke (HW), Heizkraftwerke HKW, Blockheizkraftwerken (BHKW), Entnahme-Kondensation (EK)

Tabelle 5: Umrechnungsfaktoren für den Energieverbrauch in kWh in CO₂-äquivalente Emission Quellen: Fritsche UR, Rausch L. Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme. Forschungsbericht 360 16 008: Umweltbundesamt; 2008. Icha P, Kuhs G. Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 -2019. Climate Change 13/2020: Umweltbundesamt; 2020.

CO₂-äquiv Emissionen Stromverbrauch [kgCO₂] =

*(Strom Stromnetz [kWh] * CO₂-äquiv Emissionsfaktor Stromnetz [g/kWh] +*

*Strom Eigenproduktion [kWh] * CO₂-äquiv Emissionsfaktor Eigenproduktion [g/kWh]) / 1000*

CO₂-äquiv Emissionen Wärmeverbrauch [kgCO₂] =

*(Wärme Fernwärme [kWh] * CO₂-äquiv Emissionsfaktor Fernwärme [g/kWh] +*

*Wärme Eigenproduktion [kWh] * CO₂-äquiv Emissionsfaktor Eigenproduktion [g/kWh]) / 1000*

CO₂-äquiv Emissionen [kgCO₂] =

CO₂-äquiv Emissionen Stromverbrauch [kgCO₂] + CO₂-äquiv Emissionen Wärmeverbrauch [kgCO₂]