



Federatie
**Medisch
Specialisten**

Leidraad Duurzaamheid in richtlijnen

Inhoudsopgave

Leidraad Duurzaamheid in richtlijnen	1
Inhoudsopgave	2
Startpagina - Leidraad Duurzaamheid in richtlijnen	3
Operatietechnieken	5
Reusables versus disposables	24
Afdekmaterialen	56
Anesthesie	67
Luchtbehandeling	81

Startpagina - Leidraad Duurzaamheid in richtlijnen

Waar gaat deze Leidraad over?

De Leidraad 'Duurzaamheid in richtlijnen: Toevoegen van duurzaamheidsaspecten in richtlijnontwikkeling op de operatiekamer' geeft algemene handvatten voor het opnemen van duurzaamheid bij revisie van bestaande of ontwikkeling van nieuwe landelijke medisch specialistische richtlijnen op de operatiekamers. Deze Leidraad betreft een eerste stap en verkenning op dit gebied, vervolgonderzoek en toekomstige evaluatie acht de werkgroep belangrijk.

De Leidraad bestaat uit twee delen:

Deel A Methodologische handreiking

Deze handreiking geeft werkgroepen kaders om op zoek te gaan naar duurzamere zorg op operatiekamers. De handreiking is gepubliceerd op de Richtlijndatabase onder het kopje '[werkwijze](#)'.

Deel B Vijf inhoudelijke duurzaamheidsmodules

Deze modules evalueren vijf onderwerpen waarbij duurzaamheid een rol speelt. Deze overkoepelende modules dienen als pilot om het veld te verkennen en kennislacunes te inventariseren. Hierbij worden alleen duurzaamheidsuitkomsten meegenomen, de modules geven inzicht in milieu-impact.

[Module Operatietechnieken](#)

[Module Reusables versus disposables](#)

[Module Afdekmaterialen](#)

[Module Anesthesie](#)

[Module Luchtbehandeling](#)

Voor wie is deze Leidraad bedoeld?

Het doel van deze Leidraad is richtlijncommissies en -adviseurs op een uniforme wijze te ondersteunen in het implementeren van duurzaamheid in medisch specialistische richtlijnen. Deze Leidraad richt op richtlijnontwikkeling binnen snijdende specialismen (op operatiekamers).

Hoe is de Leidraad tot stand gekomen?

Het initiatief voor deze Leidraad is afkomstig van Nederlandse Vereniging van Heelkunde (NVvH). Voor het ontwikkelen van de Leidraad is 2021 een multidisciplinaire werkgroep ingesteld, bestaande uit vertegenwoordigers van alle relevante specialismen (zie hiervoor de Samenstelling van de werkgroep) die betrokken zijn bij de zorg voor patiënten op operatiekamers.

Toepassing

- [Samenvattingen modules](#)
- [Animatie](#)
- [Kennisclip](#)
- [Toepassing R-ladder](#)

Verantwoording

Laatst beoordeeld :

Voor de volledige verantwoording, evidence tabellen en eventuele aanverwante producten raadpleegt u de Richtlijnendatabase.

Operatietechnieken

Uitgangsvraag

Wat is de rol van duurzaamheid bij robot-geassisteerde laparoscopische chirurgie in vergelijking met conventionele laparoscopische chirurgie of open chirurgie bij patiënten met een indicatie voor een operatie?

Zie een schematisch overzicht van de module in '[Samenvatting](#)'.

Aanbeveling

Wees bewust dat robot-geassisteerde chirurgie een grotere (negatieve) impact heeft op het milieu dan andere operatietechnieken. Dit wordt met name veroorzaakt door het hoge energieverbruik en de inzet van disposables bij robot-geassisteerde chirurgie.

Duurzaamheid moet worden meegenomen in de overwegingen voor een operatietechniek. Als op basis van de literatuurconclusies en overwegingen geen duidelijke voorkeur is, zet dan de meest duurzame operatietechniek in.

Overweeg de patiënt te informeren over de milieu-impact van de behandeling en neem duurzaamheid mee in de gezamenlijke besluitvorming.

Indien chirurgie wordt toegepast:

- Laat duurzaamheid meewegen in de te kiezen operatietechniek bij de indicatiestelling (R1-Refuse).
- Besteed aandacht aan het reduceren van het gebruik van disposables (R2-Reduce).
- Optimaliseer de inzet van duurzame energie en energiezuinige apparatuur (R2-Reduce).
- Neem duurzaamheid mee in het (her)ontwerp van technologieën (R3-Redesign) en wijs de industrie hierop.

Overwegingen

Voor- en nadelen van de interventie en de kwaliteit van het bewijs

Op basis van de beschikbare literatuur is gekeken naar de milieu-impact van verschillende operatietechnieken. Er zijn drie Life Cycle Assessments (LCA's) geïncorporeerd in de literatuursamenvatting. Deze LCA's verschillen onder andere in methodiek (EIO-LCA, Attributional LCA, Hybrid LCA-ISO 14040-44), databases en aannames. Daarnaast zijn er enkele methodologische beperkingen (*risk of bias, indirectheid*). De bewijskracht van de literatuur is daardoor *laag* voor de cruciale uitkomstmaten 'climate change' en 'waste'. Op basis van de GRADE methode ter beoordeling van de literatuur kunnen geen sterke conclusies geformuleerd worden over de precieze mate van milieu-impact van de operatietechnieken. Echter, ondanks de methodologische verschillen tussen de LCA's, wijzen de resultaten wel dezelfde richting op. Gezien deze consequente richting, geïdentificeerde hotspots en de urgentie om de milieu-impact te verminderen, beschouwt de werkgroep dit als afdoende ondersteuning om sterke aanbevelingen te formuleren.

De geïnccludeerde LCA's zijn kritisch beoordeeld volgens Drew (2021), zie de bijlage 2 'Critical appraisal of LCA's'. De kwaliteit van de studies wordt hiermee beoordeeld op basis van de methodologie van een LCA. Dit scoresysteem bestaat uit 16 beoordelingscriteria, die zijn verdeeld over de verschillende fasen van een LCA. Het behandelt een reeks indicatoren voor studiekwaliteit, zoals *interne validiteit*, *externe validiteit*, *consistentie*, *transparantie* en *bias*. De procentuele score geeft een indicatie van de algehele studiekwaliteit. Een hogere score duidt op een hogere algehele studiekwaliteit. Thiel (2015) scoort met 80% het hoogst in vergelijking met Power (2012) en Woods (2015), die respectievelijk 54% en 57% scoren.

In de drie studies (Power, 2012; Thiel, 2015; Woods, 2015) worden verschillende operatietechnieken met elkaar vergeleken op duurzaamheidsuitkomsten. De werkgroep heeft klinische uitkomsten (bijv. complicaties, overleving, opnameduur) in deze module niet meegenomen. De werkgroep wil er echter wel op wijzen dat klinische uitkomsten van belang zijn in duurzaamheidsvraagstukken.

Hoewel de bewijskracht van de cruciale uitkomstmaten uit komt op *laag*, wijzen de resultaten er consistent op dat robot-geassisteerde laparoscopische chirurgie de grootste milieu-impact heeft, in vergelijking met conventionele laparoscopische chirurgie of open chirurgie (Power, 2012; Thiel, 2015; Woods, 2015). Open chirurgie komt uit de LCA's als operatietechniek met de laagste negatieve milieu-impact. Hierbij is het belangrijk te benadrukken dat in de LCA's de postoperatieve periode niet is meegenomen en in de analyses alleen specifiek is gekeken naar de operatie zelf. De werkgroep is zich ervan bewust dat postoperatieve factoren (zoals complicaties, heropnames, opnameduur) de milieu-impact kunnen veranderen en dat dit moet worden meegenomen in de overwegingen voor een operatietechniek.

Het is van belang om te evalueren waar in deze operatietechnieken de milieu 'hotspots' met de grootste milieu-impact zitten. In die 'hotspots' zit immers de grootste verbeterruimte. De drie LCA's identificeren verschillende 'hotspots': energieverbruik (o.a. voor chirurgische machines, verlichting, verwarming/ventilatie/air-conditioning), gebruik van gassen (o.a. verschillende anesthesiegassen en CO₂ voor abdominale insufflatie) en het gebruik van disposables en reusables (o.a. productie, reiniging en sterilisatie, afvalverwerking). In module 'disposables versus reusables' en module 'anesthesie' wordt de milieu-impact hiervan geëvalueerd.

De hotspots worden geëvalueerd middels de 'R-ladder (strategieën van circulariteit)' (zie figuur 1, gebaseerd op Cramer, 2014; Hanemaaijer, 2018; Potting, 2016; Reike, 2018). De R-ladder laat zien dat de hoogste prioriteit om duurzaam te werken 'refuse' is, oftewel, niet gebruiken. Hoe lager het grondstofgebruik, des te hoger op de R-ladder en hoe dichter je bij circulair werken bent.



Figuur 1. Prioriteitsvolgorde circulariteit strategieën

Refuse (R1) en Reduce (R2)

De drie LCA's impliceren dat robot-geassisteerde laparoscopie de grootste negatieve milieu-impact heeft. Soms is het mogelijk eenzelfde operatie met verschillende operatietechnieken uit te voeren. De werkgroep stelt dat duurzaamheid met andere overwegingen moet worden meegenomen in de beslissing voor een specifieke operatietechniek. De werkgroep adviseert om voor de techniek met de laagste milieu-impact te kiezen, als op basis van de literatuurconclusies en overwegingen geen duidelijke voorkeur is. Bepaalde operatietechnieken kunnen op deze manier 'geweigerd' (R1-Refuse) worden, door bijvoorbeeld het aanscherpen van indicatiestellingen. Indien de operatietechniek 'best practice' is, kan er worden gekeken of de hotspots kunnen worden aangepakt om toch de milieu-impact van de desbetreffende operatietechniek te verlagen.

Een LCA laat tevens zien waar de grootste milieu-impact ('hotspot') in het proces zit. Twee LCA's (Woods, 2015; Thiel, 2015) laten zien dat de robot-geassisteerde laparoscopie de meeste energie verbruikt, waarbij inzet van het robotsysteem dit verschil bewerkstelligt. De hotspot 'energie' kan worden onderverdeeld in energie voor chirurgische machines en instrumentaria, energie voor verlichting, verwarming, ventilatie en airconditioning en er wordt energie verbruikt voor het verkrijgen van CO₂ voor insufflatie bij minimaal

invasieve chirurgie (MIC). Thiel (2015) laat zien dat verwarming, ventilatie en luchtbehandeling op operatiekamers de grootste bijdrage leveren aan het totale energieverbruik. Daarnaast is de productie van disposables een belangrijke milieu 'hotspot' en draagt dit voor het grootste deel bij aan de totale milieu-impact (Thiel, 2015). Ten aanzien van R1-Refuse, zou het niet verbruiken van energie de beste keuze zijn. Indien een operatiekamer niet in gebruik is, wordt geadviseerd om eventuele machines, luchtbehandeling of verlichting uit te zetten. Wanneer het niet mogelijk is om dit uit te schakelen, is het verminderen van het verbruik van energie (R2-Reduce) een optie. Bijvoorbeeld middels het efficiënter inzetten van luchtbehandeling (zie ook module 'luchtbehandeling'), het regelmatig onderhouden van mechanische apparatuur/ instrumentaria, het vernieuwen van mechanische instrumentaria en filters, het beperken van energielekken of door intensievere toepassing van meer duurzame energiebronnen.

Redesign (R3)

Operatietechnieken hebben zich over de afgelopen decennia in rap tempo doorontwikkeld. Nieuwe robotsystemen doen hun intrede en steeds complexere instrumentaria worden voor MIC ontwikkeld. In het design van apparatuur en instrumenten zal, in het kader van de negatieve milieu-impact, duurzaamheid moeten worden meegenomen.

Het robotsysteem gebruikt relatief veel energie en produceert veel afval (Woods, 2015; Thiel, 2015). Dit biedt kansen voor verbeteringen in het design. De drie LCA's identificeren het gebruik van disposables als één van de 'hotspots', mede vanwege de hoeveelheid afval. Echter de productie van disposables blijkt voornamelijk van grote invloed te zijn op de uitkomstmaten 'CO₂ footprint', 'ozone depletion' en 'acidification' (Thiel, 2015). Binnen de robotchirurgie worden instrumenten wel al hergebruikt, maar hier zit vaak al snel een maximum aan. De uitdaging ligt bij de industrie om instrumenten zodanig te ontwerpen dat deze zoveel mogelijk hergebruikt kunnen worden (verlengen van de levensduur), zonder het risico op patiëntveiligheid (zoals infecties) aan te tasten (zie ook module 'disposables versus reusables'). De industrie zal moeten worden uitgedaagd om hieraan mee te werken in de context van een circulaire economie.

Daarnaast draagt ook de hotspot 'insufflatie van de buik' bij laparoscopische operaties in grote mate bij aan de 'CO₂ footprint' en 'ozone depletion' (Thiel 2015; Power, 2012). Door een duurzamere manier te ontwikkelen (R3-Redesign) voor CO₂ winning, valt milieuwinst te behalen. Denk bijvoorbeeld aan een duurzamere productiemethode of duurzaam transport. Het verkrijgen van CO₂ voor MIC (productie, opwekken/leveren, gasextractie, transport) leidt gemiddeld tot 141 kg aan CO₂ emissies per MIC operatie (Power, 2012). Dit is vergelijkbaar met een enkele autorit (benzineauto, verbruik 1:14) van Amsterdam naar Stuttgart (±620km). De werkgroep stelt dat er meer aandacht moet komen voor een duurzame CO₂ winning om op dit gebied milieuwinst te behalen. Daarnaast is het mogelijk om met minder CO₂ voor insufflatie te werken, dus door een lagere druk te gebruiken. Met deze lagere druk wordt minder CO₂ verbruikt, wat positief bijdraagt aan de impact op het milieu (R2-Reduce). Dit kan bijvoorbeeld worden uitgevoerd met het AirSeal® systeem, dat naast het behoud van een pneumoperitoneum met lagere drukken ook het gas CO₂ recirculeert en onnodig verlies voorkomt (Sroussi, 2017; Herati, 2009; Luketina, 2014; Bucur, 2016; George, 2015).

Wat betreft R3-Redesign is het van belang dat duurzaamheid al in de ontwikkelingsfase van medische hulpmiddelen wordt geïntegreerd. Het is daarom aan zorgverleners om de industrie bewust te maken van de noodzaak van duurzame medische hulpmiddelen. Daarnaast is voor een succesvolle implementatie samenwerking nodig tussen zorgverleners, zorginstellingen en de industrie (zoals bijvoorbeeld fabrikanten, leveranciers).

Re-use (R4)

Binnen de verschillende apparaten en disposables die worden gebruikt bij de verschillende operatietechnieken, kan hergebruik een grote rol spelen. Het is van belang om goed te kijken hoe 'oude' apparatuur opnieuw ingezet kan worden. Daarnaast tonen de drie LCA's aan dat de productie van disposables een grote impact op het milieu heeft. Indien de patiëntveiligheid het toelaat, is hergebruik van materialen en apparatuur dan ook een uiterst relevante optie. De industrie moet ertoe worden aangezet om hergebruik mogelijk te maken en de milieu-impact te verlagen. Daarnaast speelt regelgeving een belangrijke rol. Optimalisatie van de wetgeving (Medical Device Regulation – MDR) met als doel de regels rondom hergebruik te verruimen zal positief kunnen bijdragen.

Repair (R5), Refurbish (R6), Remanufacture (R7)

De factoren R5-Repair, R6-Refurbish en R7-Remanufacture gaan binnen de operatietechnieken nauw met elkaar samen. Voordat een product of apparaat wordt afgedankt, is het van belang om opnieuw te kijken of de levensduur nog verlengd kan worden. Indien een product modulair is opgebouwd, geeft dat de mogelijkheid om bepaalde delen te vervangen en andere delen langer mee te laten gaan. De werkgroep adviseert om het repareren of opknappen van producten standaard te overwegen.

Repurpose (R8), Recycling (R9), Recover (R10)

Indien medische apparatuur of producten die gebruikt worden bij de verschillende operatietechnieken niet meer gebruikt kunnen worden waarvoor zij zijn bedoeld, kan er worden gekeken naar een nieuw doeleinde (R8-Repurpose) of het hergebruiken (R9-Recycling) van de grondstoffen van het product. Kijk of het mogelijk is om samen te werken met de afvalverwerker van het ziekenhuis.. Een deel van het afval van een operatie zal moeten worden verbrand als het Specifiek Ziekenhuis Afval (SZA) betreft. In *Tabel 1-3* zijn de criteria en het proces weergegeven waarop in ziekenhuizen het onderscheid tussen restafval (afval zonder risico) en SZA (afval met risico) gemaakt kan worden en waar recycling mogelijk wordt geacht (Green Team Infectiepreventie VHIG, 2023) (R9-Recycling). Indien afval moet worden verbrand, moet er naar worden gestreefd om dit met zoveel mogelijk energierugwinning te laten plaatsvinden (R10-Recover).

Waarden en voorkeuren van patiënten (en evt. hun verzorgers)

Om meer duurzame zorg te realiseren en duurzaamheidsinitiatieven te initiëren, is het cruciaal om voldoende maatschappelijk draagvlak te hebben bij patiënten en zorgverleners. Meer duurzame keuzes in de zorg vraagt gedragsverandering van zowel de patiënt als zorgverlener. Goede voorlichting en bewustwording is hierbij van groot belang. Meer informatie en bewijs zal hier in de toekomst aan bijdragen. Vanzelfsprekend is het belangrijk dat patiënten goed meegenomen worden in besluitvorming.

Duurzamere alternatieven in gebruik rondom een operatie zullen indirect ook voor patiënten een positief effect hebben. Voor de patiënt en zorgverlener staat een veilige en effectieve behandeling voorop.

Kosten (middelenbeslag)

De werkgroep verwacht dat in veel gevallen de behandelopties met de laagste milieu-impact zullen resulteren in kostenbesparing. Indien wordt gekozen voor het hoogst haalbare op de ladder van circulariteit (R1-Refuse, R2-Reduce), zullen bijvoorbeeld bepaalde producten niet of minder gebruikt worden. De werkgroep adviseert dan ook bij de keuze voor een bepaalde operatietechniek naast klinische uitkomsten duurzaamheid mee te nemen in de overwegingen. De winst in duurzaamheid weegt op tegen de eventueel hogere kosten (bijv. investering voor reusable instrumenten, investering in technologische ontwikkeling). Daarnaast heeft de investering in technologische ontwikkeling van open chirurgie naar minimaal invasieve chirurgie (laparoscopie, robot) geleid tot een kortere opnameduur voor de patiënt met daarbij gepaard gaand lagere kosten voor het postoperatieve traject (Laudicella, 2016; Diaz, 2022) en leidt een kortere opnameduur tevens tot een lagere milieu-impact.

Tabel 1. Afval met mogelijk risico: Recycling niet toegestaan (bron: Green Team Infectiepreventie VHIG, 2023)

	Eural	Toelichting	Voorbeelden
Afval met risico (RMA) = Infectieuze afvalstoffen, niet-infectieuze lichaamsdelen en organen, cytotoxische/cytostatische geneesmiddelen	180103 <i>opslag veelal in SZA vaten (blauw of grijs)</i>	- Alle scherpe voorwerpen/naalden ongeacht herkomst of soort besmetting - Afval met <u>niet opgedroogd</u> bloed en alle niet opgedroogde excreta (bijv. sputum) ongeacht herkomst of soort besmetting - Afval dat in direct contact is geweest met patiënten met een infectieziekte welke voorkomt op de geldende cat. A ADR lijst <i>zonder</i> de toevoeging cultures only - Afval van patiënten met een infectieziekte dat niet voldoet aan bovengenoemde criteria maar waarvan op basis van een professionele inschatting bepaald kan worden dat het aannemelijk is dat het afval in de verwijderingsketen een risico vormt. - Afval dat mogelijkwerijs is besmet met micro-organismen en vrijkomt bij de bewuste vermeerdering van micro organismen in onder meer laboratoria, ongeacht herkomst of soort besmetting	Naalden en naalden-containers Afval met druipend bloed/lichaamsvloeistoffen Afval met opgesloten hoeveelheid bloed/lichaamsvloeistoffen (zoals bloedbuizen) Afval van kamers waar patiënten worden verpleegd/behandeld met: - Apenpokken - Pokken - VHK (zoals ebola, lassakoorts) - bijzonder besmettelijke aandoening, op indicatie van arts-microbioloog Afval van microbiologisch laboratorium
	180102	- Niet-infectieuze lichaamsdelen en organen	Anatomische resten en orgaandelen die vrijkomen bij operatieve en obstetrische ingrepen, bij obductie en bij wetenschappelijk onderzoek/onderwijs
	180108	- Cytotoxische en cytostatische geneesmiddelen	Medicatie, bereidingsmaterialen en materialen die in contact zijn geweest met patiënten die zijn behandeld met cytostatica (inco-materiaal, scherpe voorwerpen, verbanden, pleisters, etc.)

Tabel 2. Afval zonder mogelijk infectierisico: Recycling wel toegestaan en technisch mogelijk (bron: Green Team Infectiepreventie VHIG, 2023)

	Toelichting	Voorbeelden
Afval zonder infectierisico (NRMA, Eural 180104) = Overig afval uit de gezondheidszorg van mens	- Afval van kamers waar patiënten worden verpleegd/behandeld waarbij inzameling en verwijdering niet zijn onderworpen aan speciale richtlijnen teneinde infectie te voorkomen - Afval met opgedroogde excreta. <i>N.B.: de eventuele esthetische aspecten (bijvoorbeeld materiaal met opgedroogd bloed) die samen kunnen hangen met dit afval spelen beleidsmatig geen rol.</i> - Afval van patiënten met categorie A ADR-infectieziekte, met toevoeging cultures only - Afval wat aanvankelijk risico houdend (RMA) was, maar waarbij het risico door decontaminatie is weggenomen	- tissues - disposable handschoenen - mondkmaskers - gebruikte medische disposables, zonder druipend bloed (pincetten, scharen, onderleggers, bekkentjes, laryngoscopen, staplers etc. - linnengoed (disposable dekens, washandjes, afdekmaterialen) - verpakkingsmaterialen SMH - Rvs-materialen - papier/ glas

Tabel 3. Afval zonder mogelijk infectierisico: Recycling wel toegestaan, niet altijd technisch (bron: Green Team Infectiepreventie VHIG, 2023)

Overleg over recycle mogelijkheden met afvalverwerker		
Afval zonder infectierisico (NRMA, Eural 180104) = Overig afval uit de gezondheidszorg van mens	Verband	Situatie afhankelijk
	Gipsverband	Situatie afhankelijk
	Katheters	Situatie afhankelijk, eventueel uitwendige delen in PMD
	Infuuszakken	Niet-PVC kan bij PMD. PVC mogelijk in de toekomst recyclebaar, nu nog restafval
	Infuussystemen	Situatie afhankelijk. Tubing is moeilijk; mogelijk in de toekomst recyclebaar
	Sputten (zonder naald)	Situatie afhankelijk. Moet gedemonteerd, dat is nog lastig. Ook afhankelijk van de inhoud van de spuit en mogelijk rubber deel.
	Disposable handschoenen	Afhankelijk van contaminatie. Er zijn initiatieven bekend (Groot-Brittannië) voor inzamelen als monostroom
	Wegwerpkleding (o.a. van isolatie of operatie)	Kan in principe, is afhankelijk van materiaal
	Luiers	Er zijn beperkt initiatieven, mogelijk in de toekomst op grotere schaal
	Gedecontamineerd risico-houdend medisch afval	Situatie afhankelijk

Aanvaardbaarheid, haalbaarheid en implementatie

De keuze van een operatietechniek ligt bij de zorgverlener en de patiënt, en wordt bepaald door veel verschillende factoren (bijv. (kosten-)effectiviteit, risico op complicaties, tijd tot herstel, indicatie). De werkgroep vermoedt dat duurzaamheid met betrekking tot de keuze in operatietechnieken nog niet als doorslaggevende factor beschouwd wordt. Het vergt bewustwording over de impact van de verschillende interventies en hun hotspots om duurzaamheid mee te kunnen laten wegen in een beslissing. Daarnaast zal het aanvaarden van het meenemen van duurzaamheid in de keuze voor een operatietechniek een mogelijke drempel zijn. Het is van belang dat patiëntveiligheid voorop staat, maar de werkgroep acht het cruciaal dat duurzaamheid naast andere overwegingen wordt meegenomen. Het is aan richtlijncommissies om per casus te bepalen welke afwegingen acceptabel zijn bij de keuze tot een specifieke operatietechniek.

Rationale van de aanbeveling: weging van argumenten voor en tegen de interventies

Op basis van de gevonden literatuur is de bewijskracht voor duurzaamheidsuitkomsten laag tot zeer laag. Echter, wijzen de resultaten van de LCA's consequent dezelfde richting op, wat inzicht geeft in waar de grootste milieu-impact zich bevindt. Daarnaast benadrukt de werkgroep de urgentie om de milieu-impact te verminderen. De werkgroep beschouwt dit tezamen als afdoende ondersteuning om sterke aanbevelingen te doen. Overwegingen richten zich voornamelijk op R1-Refuse, R2-Reduce en R3-Redesign. De werkgroep acht het uiterst belangrijk om meer bewustwording op het gebied van duurzaamheid te creëren in de zorg.

Onderbouwing

Achtergrond

Met het ondertekenen van de 'Green Deal Duurzame Zorg' dient de gezondheidszorg rekening te houden met de invloed van behandelingen op het milieu (Green Deal, 2022). Opereren gaat gepaard met een relatief grote hoeveelheid afval en mogelijk varieert de milieu-impact tussen verschillende operatietechnieken. In het algemeen zijn er drie operatietechnieken beschikbaar (robot-geassisteerde-, laparoscopische- en open chirurgie) voor dezelfde indicatie. De robot-geassisteerde operatietechniek wordt steeds vaker uitgevoerd in de Nederlandse praktijk (Tummers, 2021). De meest recente studies tonen geen grote verschillen in effectiviteit aan tussen robot-geassisteerde en laparoscopische chirurgie (Aiolfi, 2021; Muaddi, 2021). Wanneer de uitkomsten van operatietechnieken voor de patiënt vergelijkbaar zijn, kan er overwogen worden om te kiezen voor de meest duurzame operatietechniek. Het is momenteel nog onduidelijk welke invloed de betreffende operatietechniek heeft op duurzaamheid. In deze module worden de duurzaamheidsuitkomsten van de drie verschillende operatietechnieken met elkaar vergeleken.

Conclusies / Summary of Findings

1. Climate change (critical)

Low GRADE	The evidence suggests robot-assisted laparoscopic surgery has a larger impact on climate change (CO₂ footprint/Global Warming Potential) when compared to conventional laparoscopic surgery or open surgery. <i>Sources: Power, 2012; Woods, 2015; Thiel, 2015</i>
------------------	---

2. Waste (critical)

Low GRADE	The evidence suggests robot-assisted laparoscopic surgery has a larger waste production when compared to conventional laparoscopic surgery or open surgery. <i>Sources: Power, 2012; Woods, 2015; Thiel, 2015</i>
------------------	---

3. Acidification (important)

Very low GRADE	The evidence is very uncertain about the effect on acidification when robot-assisted laparoscopic surgery is compared to conventional laparoscopic surgery or open surgery. <i>Source: Thiel, 2015</i>
-----------------------	--

4. Eutrophication (important)

Very low GRADE	The evidence is very uncertain about the effect on eutrophication when robot-assisted laparoscopic surgery is compared to conventional laparoscopic surgery or open surgery. <i>Source: Thiel, 2015</i>
-----------------------	---

5. Human toxicity (important)

Very low GRADE	The evidence is very uncertain about the effect on human toxicity when robot-assisted laparoscopic surgery is compared to conventional laparoscopic surgery or open surgery. <i>Source: Thiel, 2015</i>
-----------------------	---

6. Ecotoxicity (important)

Very low GRADE	The evidence is very uncertain about the effect on ecotoxicity when robot-assisted laparoscopic surgery is compared to conventional laparoscopic surgery or open surgery. <i>Source: Thiel, 2015</i>
-----------------------	--

7. Ozone depletion (important)

Very low GRADE	The evidence is very uncertain about the effect on ozone depletion when robot-assisted laparoscopic surgery is compared to conventional laparoscopic surgery or open surgery. <i>Source: Thiel, 2015</i>
---------------------------	--

Samenvatting literatuur

Description of studies

Power (2012) describes an LCA to quantify the CO₂ footprint of minimally invasive surgery (MIS) compared to open surgery in the United States. MIS included robot-assisted laparoscopic surgery and laparoscopic surgery. A total of 2,520,223 MIS procedures from the year 2009 were included. The analysis compared MIS procedures to traditional open surgery, using an Economic Input-Output-LCA (EIO-LCA). Therefore, prior to the analysis, varying aspects between MIS and open surgery were determined and only these factors were included in the analysis to quantify the CO₂ footprint. Other fixed components of the overall CO₂ footprint common to surgery in general (e.g. operating theatre, electricity use, patient travel, paper products used) were considered equivalent and were not taken into account. Different scopes of emissions were identified:

- Scope 1 CO₂ emissions: The CO₂ emission was defined as the amount of gas that was used for insufflation during MIS.
- Scope 2 and 3 CO₂ emissions: The CO₂ emissions were defined as all other processes before and after the MIS procedure. Furthermore, manufacturing and transportation of CO₂ cylinders, used to transport the CO₂ for insufflation, were taken into account.

Emissions related to the manufacturing process of the disposable instruments and to the postoperative stay were not included in the analysis. Thereby, not all disposable instruments were taken into account. Next to that, electricity use was considered equivalent, although it is expected to differ between the operating techniques, in particular between MIS and open surgery. MIS uses electricity driven instruments and cameras and in addition the robot uses robotic arms which require electricity. The relevant outcome measure was climate change (defined as CO₂ footprint).

Woods (2015) retrospectively reviewed 150 procedures of the consecutive and most recent patients to have undergone a staging procedure for endometrial cancer for three surgical modalities (50 per arm): robot-assisted laparoscopy (RA-LSC), conventional laparoscopy (LSC) and laparotomy. The functional unit was one endometrial staging procedure. Collected clinical data from the Albert Einstein College of Medicine, NY, USA, spanning the years 2008-2011, consisted of: age, body mass index (BMI), procedure type, operating time, history of prior abdominal surgery, length of stay, uterine weight, and surgical instruments used. The relevant outcome measures included climate change (defined as CO₂ footprint) and waste. CO₂ footprint was calculated by using an attributional LCA method (PAS 2050, GHG Protocol). Only energy and waste were included in this analysis. Data on energy and waste were obtained from previous studies, the National Energy Foundation and the US Energy Information Administration. Waste production (in kg) was determined based on operating room instrument data, specific to each modality. Disposal of 1 kg waste in a municipal landfill was considered equivalent to 1 kg CO₂ equivalents. Energy expenditure (in kWh) was calculated based on independent source data. Energy consumption was categorized in environmental, instrumental, robotic

system and equipment. The total energy consumed per category was multiplied by the operative time, to establish a unique energy consumption value for each surgery. Emissions for transport and manufacturing of instruments and goods and for postoperative stay were not considered.

Thiel (2015) used a hybrid LCA framework (ISO 14040-44) to quantify the environmental emissions of four types of hysterectomy (vaginal, abdominal, laparoscopic, robotic). The functional unit of the study was one hysterectomy. This research used a hybrid LCA framework, by incorporating process LCA data and Economic Input Output LCA (EIO-LCA) data. Monte Carlo simulations were used to quantify the variability and uncertainty in emissions for each component of a hysterectomy. Waste (in kg) was deduced from the surgeries of patients that underwent an abdominal, a laparoscopic, or a robotic hysterectomy for noncancer related reasons. For one year, waste from 62 cases of each type of hysterectomy were quantified and characterized (17 laparoscopic and 15 abdominal, vaginal, and robotic). A life cycle inventory was conducted of the data collected through waste audits and site assessments, followed by the life cycle impact assessment, where environmental impacts for the inputs and outputs of the four types of hysterectomy were calculated for both process LCA and EIO-LCA. Relevant outcome measures included climate change (defined as CO₂ footprint), waste, acidification, eutrophication, human toxicity, ecotoxicity, and ozone depletion. The environmental impact of postoperative stay was not considered.

Results

1. Climate Change

All three studies (Power, 2012; Woods, 2015; Thiel, 2015) reported on CO₂ footprint.

Power (2012) reported that MIS had more CO₂ emissions (355,924 tonnes/year) in comparison to open surgery. Scope 1, gas that was used during MIS for insufflation, resulted in 303 tonnes of CO₂-emissions. Scope 2-3, CO₂ emissions (CO₂ capture/compression, transportation of CO₂ cylinders and incineration of disposable instruments) resulted in 355,621 tonnes of CO₂-emissions. This LCA of MIS, showed that the biggest contributor in CO₂ emissions is the capture/compression of CO₂ for insufflation. This is mainly caused by industrial gas manufacturing, followed by the actual use of the CO₂ for insufflation, the transportation of the gas, and the incineration of the disposable instruments.

Woods (2015) reported that the CO₂ footprint (based on waste and consumed energy) was 4,498 CO₂ equivalents for all 150 endometrial staging procedures. This corresponds with 30 kg CO₂ equivalents/patient. A robotic-assisted laparoscopy (RA-LSC) procedure resulted in a CO₂ footprint of 40.3 kg CO₂ equivalents/patient, a laparoscopy (LSC) procedure in 29.2 kg CO₂ equivalents/patient, and a laparotomy (LAP) in 22.7 kg CO₂ equivalents/patient. The CO₂ footprint of the RA-LSC represents a 38% and 77% increase over LSC and LAP, respectively. The emission of 40.3 kg CO₂ equivalents is comparable to a car ride from Amsterdam to Antwerp (±160 km, petrol car, 1:14). Comparing the three techniques, the RA-LSC has the biggest CO₂ footprint. Both energy use and waste contribute most to this CO₂ footprint. Due to the Da Vinci robot, the energy consumption of RA-LSC is the highest. The energy use for equipment is highest in the LSC group. Energy use adds more to the CO₂ footprint than waste.

Thiel (2015) reported a difference in CO₂ footprint between four types of hysterectomy. For all outcomes in this LCA, the surgical modality with the highest impact is defined as 100% and the other modalities are

relatively compared to the modality with the highest impact. Robotic hysterectomies have the highest impact (100%), followed by the laparoscopic (65-70%), abdominal (35-40%) and vaginal modality (30-35%). In other words, the laparoscopic modality resulted in 30-35% less contribution to CO₂ footprint than a robotic modality. This LCA showed the biggest environmental impact is attributable to the robotic and laparoscopic surgical approaches for a hysterectomy. Within these modalities, the use of single-use instruments, single-use materials (e.g. gowns, gloves), and anesthetic gases are the biggest contributors.

2. Waste

All three studies (Power, 2012; Woods, 2015; Thiel, 2015) reported on waste. Power (2012) only reported a total of 208,441 kg/year from disposable trocar and laparoscopic instrument use for MIS. No other data regarding waste was provided in this study.

Woods (2015) reported that the LAP group produced 8.3 kg CO₂ equivalents of solid waste, the LSC group 11.2 kg CO₂ equivalents, and the RA-LSC group 11.2 kg CO₂ equivalents, respectively. Thus, RA-LSC represented a 74% and 36% increase over LAP and LSC, respectively. The solid waste consisted of four categories: infection control waste, single-use devices, consumable waste, and sterile wraps (see *Table 1*). The consumable waste was the largest contributor to solid waste for all surgical techniques. The largest amount of single-use device waste was generated by the LSC, followed by RA-LSC and LAP. The largest amount of waste for infection control was generated by the RA-LSC, followed by LAP and LSC. Sterile wraps contributed the least on waste for all surgical techniques.

Table 1. Types of waste described in Woods (2015)

Types of waste	Description	RA-LSC	LSC	LAP
Infection control	Drapes, Gowns, gloves	4.035 kg CO ₂ eq. per patient (28% of total solid waste)	1.60 kg CO ₂ eq. per patient (14% of total solid waste)	1.60 kg CO ₂ eq. per patient (19% of total solid waste)
Consumable	Blue pack items (e.g. basins, suction tubing, towels, sponges)	6.90 kg CO ₂ eq. per patient (48% of total solid waste)	6.03 kg CO ₂ eq. per patient (54% of total solid waste)	5.86 kg CO ₂ eq. per patient (71% of total solid waste)
Sterile wrap	Disposable blue wrap to maintain instrument sterility	0.88 kg CO ₂ eq. per patient (6% of total solid waste)	0.99 kg CO ₂ eq. per patient (9% of total solid waste)	0.44 kg CO ₂ eq. per patient (5% of total solid waste).
Single-use device	Single-use devices (e.g. disposable energy-based surgical instruments, skin stapler)	2.47 kg CO ₂ eq. per patient (17% of total solid waste)	3.35 kg CO ₂ eq. per patient (30% of total solid waste)	0.82 kg CO ₂ eq. per patient (10% of total solid waste)

Thiel (2015) reported that the robotic approach for a hysterectomy produced the highest amount of waste, following the laparoscopic, abdominal, and vaginal approaches. Robotic hysterectomies produced 13.7 kg municipal solid waste (MSW) per patient, which resulted in a total of 30% more waste compared to the other

approaches.

This consisted of 50% gloves and other plastics, 22% by weight by gowns, drapes and bluewraps, 18% paper, and 5% cotton.

Abdominal hysterectomies had an average of 9.2 kg of MSW production and produced the largest amount of cotton waste per surgery. Across all four surgeries, the gowns, drapes and bluewraps were the majority of the MSW (robotic: 22%, laparoscopic: 35%). Other types of plastics, from thin film packaging wrappers to hard plastic trays, ranged from 36% MSW for vaginal hysterectomies to 46% for robotic hysterectomies.

3. Acidification

Only Thiel (2015) reported on acidification for the four surgical hysterectomies. The robotic approach had the highest impact on acidification (100%), followed by laparoscopic (70-75%), abdominal (25%), and vaginal approach (20%).

4. Eutrophication

Only Thiel (2015) reported a difference in eutrophication for the four surgical hysterectomies. The robotic approach had the highest impact on eutrophication (100%), followed by the laparoscopic (70-75%), abdominal (60-65%), and vaginal approach (55%).

5. Human toxicity

Only Thiel (2015) reported a difference in human toxicity for the four surgical hysterectomies. Human toxicity was divided into two subcategories: carcinogenic and non-carcinogenic potential. The robotic approach had the highest impact in both carcinogenic and non-carcinogenic potential categories (100%). Regarding the carcinogenic impact, the robotic approach was followed by the abdominal (90-100%), laparoscopic (80%), and vaginal approach (80%). Regarding the non-carcinogenic impact, the robotic approach was followed by the laparoscopic (85-90%), abdominal (80-90%), and vaginal approach (70-75%).

6. Ecotoxicity

Only Thiel (2015) reported a difference in ecotoxicity for the four surgical hysterectomies. The robotic approach had the highest impact on ecotoxicity (100%), followed by the laparoscopic (90-95%), abdominal (90%), and vaginal approach (75%).

7. Ozone depletion

Only Thiel (2015) reported a difference in ozone depletion for the four surgical hysterectomies. The robotic approach had the highest impact on ozone depletion (100%), followed by the laparoscopic (60-65%), abdominal, and vaginal approach (0-5%).

Level of evidence of the literature

There are currently no widely recognized guidelines for designing, conducting, or reporting systematic reviews in LCA (Zumsteg, 2012). The Standardized Technique for Assessing and Reporting Reviews of LCA (STARR-LCA) checklist was developed based on the PRISMA statement (which was designed to help systematic reviewers transparently report why the review was done, what the authors did, and what they found) (Page, 2021; Zumsteg, 2012; Costa, 2019; Drew, 2021). The STARR-LCA proposed a critical appraisal tool to assess the level of evidence of LCAs (Drew, 2021) which is used in this module to provide an indication

of the study quality (see [Appendix 2 'Critical appraisal of LCAs'](#)). This tool consists of 16 assessment criteria for the different phases of an LCA, covering a set of quality indicators (such as internal validity, external validity, consistency, transparency, bias). The score gives an indication of the current study quality (a higher score indicates a higher study quality).

The use of the GRADE approach in environmental and occupational health is relatively new, and likely to grow in coming years, as systematic reviews become more common in the field of LCAs and the limitations of expert-based narrative review methods are increasingly recognized (Aiassa, 2015; EFSA, 2010; Mandrioli, 2015; Morgan, 2016; Woodruff, 2014). Further research is warranted in this field (Morgan, 2019), which is acknowledged by the working group. Although standards for using GRADE for LCAs are lacking, the working group decided that the level of evidence starts for LCAs starts at grade *high*. After all, the working group is mainly interested in which interventions have the greatest impact on environmental sustainability and LCAs are the best method to assess this (see also the report: 'Leidraad Duurzaamheid in richtlijnen' (NVvH, 2023). Furthermore, the GRADE standards are followed as much as possible.

As the three included studies contained LCAs (Power, 2012; Woods, 2015; Thiel, 2015), the level of evidence started at grade *high*.

1. *Climate Change*

Three studies (Power, 2012; Woods, 2015; Thiel, 2015) reported on 'climate change'. The level of evidence of this outcome measure was downgraded with 2 levels to *low* due to: risk of bias (-2; limitations on functional unit, unclear system boundaries or stages, missing system coverage, limited representativeness of data, limited transparency on characterization, sensitivity/uncertainty analyses were lacking, limitations inadequately critically appraised).

2. *Waste*

Three studies (Power, 2012; Woods, 2015; Thiel, 2015) reported on 'waste'. The level of evidence of this outcome measure was downgraded with 2 levels to *low* due to: risk of bias (-2; limitations on functional unit, unclear system boundaries or stages, missing system coverage, limited representativeness of data, limited transparency on characterization, sensitivity/uncertainty analyses were lacking, limitations inadequately critically appraised).

3. *Acidification*

One study (Thiel, 2015) reported on 'acidification'. The level of evidence of this outcome measure was downgraded with 3 levels to *very low* due to: risk of bias (-2; unclear system boundaries or stages, limited transparency on characterization, unclear reported results, sensitivity/uncertainty analyses were lacking, limitations inadequately critically appraised) and indirectness (-1; limited representativeness as data were only collected from one study including 62 hysterectomy cases).

4. *Eutrophication*

One study (Thiel, 2015) reported on 'eutrophication'. The level of evidence of this outcome measure was downgraded with 3 levels to *very low* due to: risk of bias (-2; unclear system boundaries or stages, limited transparency on characterization, unclear reported results, sensitivity/uncertainty analyses were lacking,

limitations inadequately critically appraised) and indirectness (-1; limited representativeness as data were only collected from one study including 62 hysterectomy cases).

5. Human toxicity

One study (Thiel, 2015) reported on 'human toxicity'. The level of evidence of this outcome measure was downgraded with 3 levels to very low due to risk of bias (-2; unclear system boundaries or stages, limited transparency on characterization, unclear reported results, sensitivity/uncertainty analyses were lacking, limitations inadequately critically appraised) and indirectness (-1; limited representativeness as data were only collected from one study including 62 hysterectomy cases).

6. Ecotoxicity

One study (Thiel, 2015) reported on 'ecotoxicity'. The level of evidence of this outcome measure was downgraded with 3 levels to very low due to risk of bias (-2; unclear system boundaries or stages, limited transparency on characterization, unclear reported results, sensitivity/uncertainty analyses were lacking, limitations inadequately critically appraised) and indirectness (-1; limited representativeness as data were only collected from one study including 62 hysterectomy cases).

7. Ozone depletion

One study (Thiel, 2015) reported on 'ozone depletion'. The level of evidence of this outcome measure was downgraded with 3 levels to very low due to risk of bias (-2; unclear system boundaries or stages, limited transparency on characterization, unclear reported results, sensitivity/uncertainty analyses were lacking, limitations inadequately critically appraised) and indirectness (-1; limited representativeness as data were only collected from one study including 62 hysterectomy cases).

Zoeken en selecteren

A systematic review of the literature was performed to answer the following question: *What is the role of environmental sustainability of robot-assisted laparoscopic surgery compared with conventional laparoscopic surgery or open surgery?*

P: Patients who underwent surgery

I: Robot-assisted surgery

C: Conventional laparoscopic surgery or open surgery

O: Climate change (CO₂ footprint/Global Warming Potential (GWP)), waste, acidification, eutrophication, human toxicity, ecotoxicity, ozone depletion

Relevant outcome measures

Life cycle assessment (LCA) is a methodological tool used to quantitatively analyse the life cycle of products/activities within the context of environmental impact. The assessment comprises all stages needed to produce and use a product, from the initial development to the treatment of waste (the total life cycle). An LCA is mainly based on four phases: 1) goal and scope definition, 2) inventory analysis, 3) impact assessment, and 4) interpretation. The third phase is the life cycle impact assessment (LCIA), in which emissions and resource extractions are translated into a limited number of environmental impact scores by means of so-called characterisation factors. The ReCiPe model is a method for the impact assessment in an LCA

(Huijbregts, 2016, Huijbregts, 2017). To determine the outcome measures regarding environmental impact, the ReCiPe model of the National Institute for Public Health and the Environment (in Dutch: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM) was used.

The outcomes determined by the working group are based on the ReCiPe model. The working group considered climate change (CO₂ footprint/Global Warming Potential) and waste as *critical* outcome measures for decision making; and acidification, eutrophication, human toxicity, ecotoxicity and ozone depletion as *important* outcome measures for decision making.

A priori, the working group did not define the outcome measures listed above but used the definitions used in the studies.

Outcomes focused on environmental life cycle assessment (LCA) impact categories are relatively new in healthcare. Given the variety in scopes and methods of performing and reporting LCAs, the working group did not define a priori the minimal important difference. Differences between the techniques were evaluated by the working group after data extraction.

Glossary

- Acidification: Reduction of the pH due to acidifying effects of emissions. Acid deposition of acidifying contaminants on soil, groundwater, surface waters, biological organisms, ecosystems, and substances. Expressed in SO₂ (sulfur dioxide) equivalents (Acero, 2015).
- Climate change: In the outcome category "climate change" we include two types of outcome measures:
 - CO₂ footprint: The total greenhouse gas (GHG) emissions caused by an individual, organization, event, or product given a period of time. Expressed in CO₂ equivalents adopting the GWP (The Carbon Trust, 2018).
 - Global Warming Potential (GWP): A measure of how much energy 1 kg of a specific GHG will absorb over a given period of time, relative to the emission of 1 kg of carbon dioxide (CO₂). The GWP is 1 for CO₂. GWP was developed to allow comparisons of the global warming impacts of different gases (EPA, 2021). The larger the GWP, the more that a given gas contributes to climate change (the greater the global warming effect of the gas).
- Economic input-output life cycle assessment (EIO-LCA): EIO-LCA uses annual input-output economy models and links monetary values of the industry sector (such as building sector) to their environmental inputs/outputs.
- Ecotoxicity: Toxic effects of chemicals on ecosystems. Environmental toxicity is measured as three separate impact categories which examine freshwater (e.g. lakes and rivers), marine (e.g. estuaries and the ocean) and land. Ecotoxicity describes exposure and the effects of toxic substances on the environment (Acero, 2015). Common environmental toxicants are diethyl phthalate (enters environment through industries manufacturing cosmetics, plastic and many other commercial products), bisphenol A (found in many mass-produced products such as, medical devices, food packaging, cosmetics, computers), pesticides, and oil. It is expressed in 1,4-dichlorobenzene (DB) equivalents.
- Energy mix: All sources of energy used from which energy is produced that can be directly used, e.g. in the form of electricity. Sources can be coal, oil, natural gas, hydro, nuclear and other renewables (e.g. wind, solar, thermal).
- Eutrophication: Accumulation of nutrients in water. Eutrophication includes the effects on ecosystems

found in land or water due to over-fertilization or excess supply of nutrients (e.g. algal bloom), which can lead to changes in ecosystems and diversity of species. Expressed in PO_4 (phosphate) equivalents (Acero, 2015). This leads to ecosystem damage and has a negative effect on the climate.

- **Hotspot:** In a life cycle assessment (LCA) an "environmental hotspot" refers to a specific stage where a significant environmental impact is detected, presenting a significant opportunity for improvement.
- **Human toxicity:** Toxic effect of chemicals on humans. Human toxicity reflects the potential harm of a unit of chemical released into the environment, and it is based on the inherent toxicity of a compound and its potential dose (Acero, 2015). It is differentiated as non-cancer and cancer toxicity and affects human health. It is expressed in 1,4-dichlorobenzene (DB) equivalents.
- **Hybrid instruments:** Instruments which are partly disposable and partly reusable.
- **Life Cycle Assessment (LCA):** This is a methodology for assessing environmental impacts associated with all the stages of the life cycle of a commercial product, process, or service. An LCA mainly consists of four steps: 1) goal and scope, 2) inventory analysis, 3) impact assessment, and 4) interpretation.
- **Life Cycle Impact Assessment (LCIA):** This is the third phase of an LCA, which aims to evaluate the potential environmental and human health impacts resulting from the elementary flows determined in the LCI.
- **Ozone depletion:** Reduction of the stratospheric ozone layer due to emissions of ozone depleting substances. Damage to the ozone layer reduces its ability to prevent ultraviolet (UV) light entering the earth's atmosphere, increasing the amount of carcinogenic UV light reaching the earth's surface. Expressed in kg CFC-11 equivalents (Acero, 2015).
- **Waste:** Total amount of waste expressed in kilograms, such as for example plastics or (disposable) instruments.

Search and select (Methods)

The databases Pubmed (via NCBI), Embase (via OVID), Web of Science (via Webofscience), Cochrane (via Cochrane library) and Emcare (via OVID) were searched with relevant search terms from 2000 until 7 December 2021. The detailed search strategy is depicted under the tab Methods. The systematic literature search resulted in 202 hits. Studies for this module were selected based on the following criteria:

- Systematic reviews in which searches were performed in at least two databases, with a detailed search strategy, risk of bias assessment and results of individual studies available, randomized controlled trials, (observational) comparative studies, Life Cycle Assessments;
- Full-text English or Dutch language publication; and
- Studies according to the PICO. This included studies that compared robot-assisted surgery with conventional laparoscopic or open surgery and included at least one of the outcomes conform the PICO.

Three studies were included for full text analysis. After reading the full text, all three studies were included in the literature summary of this module.

Results

Three studies were included in the analysis of the literature, which were all Life Cycle Assessments (LCAs). Important study characteristics and results are summarized in [Appendix 1 'Evidence table of LCAs'](#). The quality assessment of the studies is summarized in [Appendix 2 'Critical appraisal of LCAs'](#).

Verantwoording

Laatst beoordeeld : 08-01-2024

Voor de volledige verantwoording, evidence tabellen en eventuele aanverwante producten raadpleegt u de Richtlijnendatabase.

Referenties

- Acer, 2015. Greendelta, LCIA methods: Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories. Version: 1.5.4. Date: 16 March 2015. Accessed at: <https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2015/11/LCIA-METHODS-v.1.5.4.pdf>
- Aiolfi A, Lombardo F, Matsushima K, Sozzi A, Cavalli M, Panizzo V, Bonitta G, Bona D. Systematic review and updated network meta-analysis of randomized controlled trials comparing open, laparoscopic-assisted, and robotic distal gastrectomy for early and locally advanced gastric cancer. *Surgery*. 2021 Sep;170(3):942-951. doi: 10.1016/j.surg.2021.04.014. Epub 2021 May 20. PMID: 34023140.
- Aiassa E, Higgins JP, Frampton GK, Greiner M, Afonso A, Amzal B, Deeks J, Dorne JL, Glanville J, Lövei GL, Nienstedt K, O'connor AM, Pullin AS, Raji? A, Verloo D. Applicability and feasibility of systematic review for performing evidence-based risk assessment in food and feed safety. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2015;55(7):1026-34. doi: 10.1080/10408398.2013.769933. PMID: 25191830.
- Berners-Lee M. How Bad are Bananas; the Carbon Footprint of Everything. London: Profile Books; 2010.
- Bucur P, Hofmann M, Menhadji A, Abedi G, Okhunov Z, Rinehart J, Landman J. Comparison of Pneumoperitoneum Stability Between a Valveless Trocar System and Conventional Insufflation: A Prospective Randomized Trial. *Urology*. 2016 Aug;94:274-80. doi: 10.1016/j.urology.2016.04.022. Epub 2016 Apr 27. PMID: 27130263.
- Cramer, J. (2014). Milieu: Elementaire Deeltjes: 16.
- Costa D, Quinteiro P, Dias AC. A systematic review of life cycle sustainability assessment: Current state, methodological challenges, and implementation issues. *Sci Total Environ*. 2019 Oct 10;686:774-787. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.435. Epub 2019 May 30. PMID: 31195285.
- Diaz SE, Lee YF, Bastawrous AL, Shih IF, Lee SH, Li Y, Cleary RK. Comparison of health-care utilization and expenditures for minimally invasive vs. open colectomy for benign disease. *Surg Endosc*. 2022 Oct;36(10):7250-7258. doi: 10.1007/s00464-022-09097-x. Epub 2022 Feb 22. PMID: 35194661; PMCID: PMC9485164.
- Drew J, Christie SD, Tyedmers P, Smith-Forrester J, Rainham D. Operating in a Climate Crisis: A State-of-the-Science Review of Life Cycle Assessment within Surgical and Anesthetic Care. *Environ Health Perspect*. 2021 Jul;129(7):76001. doi: 10.1289/EHP8666. Epub 2021 Jul 12. PMID: 34251875; PMCID: PMC8274692.
- EFSA, 2010. European Food Safety Authority; Application of systematic review methodology to food and feed safety assessments to support decision making. *EFSA Journal* 2010; 8(6):1637. [90 pp.]. doi:10.2903/j.efsa.2010.1637. Available online: www.efsa.europa.eu
- Elferink S, Kremer J, Steemers R. Uitstootcijfers geven grip op verduurzaming. Passende zorg bespaart CO2. *Medisch Contact*. 2023 feb.
- EPA 2021 <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- George AK, Wimhofer R, Viola KV, Pernegger M, Costamoling W, Kavoussi LR, Loidl W. Utilization of a novel valveless trocar system during robotic-assisted laparoscopic prostatectomy. *World J Urol*. 2015 Nov;33(11):1695-9. doi: 10.1007/s00345-015-1521-8. Epub 2015 Mar 1. PMID: 25725807.
- Green Deal, 2022. C-238 Green Deal 3.0: Samen werken aan duurzame zorg. Gepubliceerd op 04 november 2022. Link: <https://www.greendeals.nl/green-deals/green-deal-samen-werken-aan-duurzame-zorg>
- Groene OK, 2021. Landelijk Netwerk Groene OK. Meerjarenplan Landelijk Netwerk de Groene OK 2022 - 2025. Link: <https://degroeneok.nl/over-ons/over-de-groene-ok/>
- Hanemaaijer, A., Delahaye, R., Hoekstra, R., Ganzevles, J., & Lijzen, J. (2018). Circulaire economie: wat we willen weten en kunnen meten: Systeem en nulmeting voor monitoring van de voortgang van de circulaire economie in Nederland.
- Herati AS, Atalla MA, Rais-Bahrami S, Andonian S, Vira MA, Kavoussi LR. A new valve-less trocar for urologic laparoscopy:

initial evaluation. J Endourol. 2009 Sep;23(9):1535-9. doi: 10.1089/end.2009.0376. PMID: 19694520.

Huijbregts, M. A., Steinmann, Z. J., Elshout, P. M., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., ... & van Zelm, R. (2017). ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. The International Journal of Life Cycle Assessment, 22(2), 138-147.

Huijbregts MAJ, Steinmann ZJN, Elshout PMF, Stam G, Verones F, Vieira MDM Management Duurzame Melkveehouderij, Hollander A, Van Zelm R, 2016. ReCiPe2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. RIVM Rapport 2016-0104. Bilthoven, The Netherlands.

Laudicella M, Walsh B, Munasinghe A, Faiz O. Impact of laparoscopic versus open surgery on hospital costs for colon cancer: a population-based retrospective cohort study. BMJ Open. 2016 Nov 3;6(11):e012977. doi: 10.1136/bmjopen-2016-012977. PMID: 27810978; PMCID: PMC5128901.

Luketina RR, Knauer M, Köhler G, Koch OO, Strasser K, Egger M, Emmanuel K. Comparison of a standard CO₂ pressure pneumoperitoneum insufflator versus AirSeal: study protocol of a randomized controlled trial. Trials. 2014 Jun 20;15:239. doi: 10.1186/1745-6215-15-239. PMID: 24950720; PMCID: PMC4078359.

Ministeriële W, beleidstekst sectorplan LAP3, tweede wijziging (geldig vanaf 2 maart 2021).

<https://lap3.nl/sectorplannen/sectorplannen/gezondheid/>

Muaddi H, Hafid ME, Choi WJ, Lillie E, de Mestral C, Nathens A, Stukel TA, Karanicolas PJ. Clinical Outcomes of Robotic Surgery Compared to Conventional Surgical Approaches (Laparoscopic or Open): A Systematic Overview of Reviews. Ann Surg. 2021 Mar 1;273(3):467-473. doi: 10.1097/SLA.0000000000003915. PMID: 32398482.

Morgan RL, Thayer KA, Bero L, Bruce N, Falck-Ytter Y, Ghersi D, Guyatt G, Hooijmans C, Langendam M, Mandrioli D, Mustafa RA, Rehfuess EA, Rooney AA, Shea B, Silbergeld EK, Sutton P, Wolfe MS, Woodruff TJ, Verbeek JH, Holloway AC, Santesso N, Schünemann HJ. GRADE: Assessing the quality of evidence in environmental and occupational health. Environ Int. 2016 Jul-Aug;92-93:611-6. doi: 10.1016/j.envint.2016.01.004. Epub 2016 Jan 27. PMID: 26827182; PMCID: PMC4902742.

Morgan RL, Beverly B, Ghersi D, Schünemann HJ, Rooney AA, Whaley P, Zhu YG, Thayer KA; GRADE Working Group. GRADE guidelines for environmental and occupational health: A new series of articles in Environment International. Environ Int. 2019 Jul;128:11-12. doi: 10.1016/j.envint.2019.04.016. Epub 2019 Apr 24. PMID: 31029974; PMCID: PMC6737525.

Mandrioli D, Silbergeld EK. Evidence from Toxicology: The Most Essential Science for Prevention. Environ Health Perspect. 2016 Jan;124(1):6-11. doi: 10.1289/ehp.1509880. Epub 2015 Jun 19. PMID: 26091173; PMCID: PMC4710610.

NVvH, 2023. Leidraad Duurzaamheid in richtlijnen - Toevoegen van duurzaamheidsaspecten in richtlijnontwikkeling. Nog niet geautoriseerd: Commentaarfase, mei 2023.

Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, Shamseer L, Tetzlaff JM, Akl EA, Brennan SE, Chou R, Glanville J, Grimshaw JM, Hróbjartsson A, Lalu MM, Li T, Loder EW, Mayo-Wilson E, McDonald S, McGuinness LA, Stewart LA, Thomas J, Tricco AC, Welch VA, Whiting P, Moher D. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. J Clin Epidemiol. 2021 Jun;134:178-189. doi: 10.1016/j.jclinepi.2021.03.001. Epub 2021 Mar 29. PMID: 33789819.

Potting, J., Hekkert, M. P., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2016). Circulaire economie: Innovatie meten in de keten.

Power NE, Silberstein JL, Ghoneim TP, Guillonneau B, Touijer KA. Environmental impact of minimally invasive surgery in the United States: an estimate of the carbon dioxide footprint. J Endourol. 2012 Dec;26(12):1639-44. doi: 10.1089/end.2012.0298. Epub 2012 Oct 16. PMID: 22845049; PMCID: PMC3521130.

Reike, D., Vermeulen, W. J., & Witjes, S. (2018). The circular economy: new or refurbished as CE 3.0? exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. Resources, Conservation and Recycling, 135, 246-264.

Sroussi J, Elies A, Rigouzzo A, Louvet N, Mezzadri M, Fazel A, Benifla JL. Low pressure gynecological laparoscopy (7mmHg) with AirSeal® System versus a standard insufflation (15mmHg): A pilot study in 60 patients. J Gynecol Obstet Hum Reprod. 2017 Feb;46(2):155-158. doi: 10.1016/j.jogoh.2016.09.003. Epub 2017 Jan 30. PMID: 28403972.

The Carbon Trust (2018) Carbon Footprinting. <https://www.carbontrust.com/resources/carbon-footprinting-guide>

Thiel CL, Eckelman M, Guido R, Huddleston M, Landis AE, Sherman J, Shrake SO, Copley-Woods N, Bilec MM. Environmental impacts of surgical procedures: life cycle assessment of hysterectomy in the United States. Environ Sci Technol. 2015 Feb 3;49(3):1779-86. doi: 10.1021/es504719g. Epub 2015 Jan 14. PMID: 25517602; PMCID: PMC4319686.

Tummers FHMP, Hoebink J, Driessen SRC, Jansen FW, Twijnstra ARH. Decline in surgeon volume after successful implementation of advanced laparoscopic surgery in gynecology: An undesired side effect? Acta Obstet Gynecol Scand. 2021

Nov;100(11):2082-2090.

Weidema B.P. (1997). Guidelines for Critical Review of Product LCA. SPOLD, Brussels, 14. https://lca-net.com/files/critical_review.pdf

Woods DL, McAndrew T, Nevadunsky N, Hou JY, Goldberg G, Yi-Shin Kuo D, Isani S. Carbon footprint of robotically-assisted laparoscopy, laparoscopy and laparotomy: a comparison. *Int J Med Robot.* 2015 Dec;11(4):406-12. doi: 10.1002/rcs.1640. Epub 2015 Feb 22. PMID: 25708320.

WHO, 2021. World Health Organization. Fact sheet: Climate change and health. Accessed at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>. 30 October 2021.

Woodruff TJ, Sutton P. The Navigation Guide systematic review methodology: a rigorous and transparent method for translating environmental health science into better health outcomes. *Environ Health Perspect.* 2014 Oct;122(10):1007-14. doi: 10.1289/ehp.1307175. Epub 2014 Jun 25. PMID: 24968373; PMCID: PMC4181919.

Zumsteg JM, Cooper JS, Noon MS. Systematic Review Checklist: A Standardized Technique for Assessing and Reporting Reviews of Life Cycle Assessment Data. *J Ind Ecol.* 2012 Apr;16(Suppl 1):S12-S21. doi: 10.1111/j.1530-9290.2012.00476.x. PMID: 26069437; PMCID: PMC4461004.

Reusables versus disposables

Uitgangsvraag

2.1 Hoe kunnen reusables en disposables op een operatiecomplex op de meest duurzame manier worden gebruikt?

2.2 Hoe kunnen specifieke reusable en disposable medische instrumenten op een operatiecomplex op de meest duurzame manier worden gebruikt?

Zie een schematisch overzicht van de module in '[Samenvatting](#)'.

Aanbeveling

Gebruik bij voorkeur reusables, omdat disposables een grotere (negatieve) impact hebben op het milieu (R4-Reuse).

- Beoordeel kritisch of het gebruik van een product daadwerkelijk nodig is (R1-Refuse).
- Indien disposables toch noodzakelijk zijn bij de operatie, probeer dan het gebruik te minimaliseren (R2-Reduce).

Om de milieu-impact van reusables te verlagen:

- Optimaliseer het reiniging-, desinfectie- en sterilisatieproces (bijv. door het gebruik van duurzame energie, energiezuinige apparatuur).
- Beoordeel of sterilisatie noodzakelijk is naast reiniging en desinfectie. Raadpleeg hiervoor de SRI richtlijnen.
- Optimaliseer het transport (bijv. door een meer duurzame manier van transport, verkorten van de transport afstand).
- Geef de voorkeur aan reusables met de langste levensduur, omdat dit de laagste (negatieve) impact heeft op het milieu.

Neem duurzaamheid mee in het (her)ontwerp van producten, instrumenten en apparatuur (R3-Redesign).

- Wijs de industrie op het belang van het aanbieden van duurzame medische hulpmiddelen.
- Neem afvalverwerking mee in het herontwerp (bijv. door het gebruik van minder soorten materialen, duidelijke aanduiding afvalscheiding, stimuleren van circulariteit).

Overwegingen

Voor- en nadelen van de interventie en de kwaliteit van het bewijs

Er is literatuuronderzoek verricht naar de milieu-impact van disposables en reusables die worden gebruikt op operatiekamers. Twintig studies zijn gevonden (PICO1 n=9; PICO2 n=11). Hiervan zijn achttien studies een LCA, één studie is een review (Drew, 2021) en één studie behelst een observationeel onderzoek (Namburar, 2022). De studies vergelijken verschillende medische hulpmiddelen, bijvoorbeeld: naaldencontainers, operatiejassen, isolatiejassen, anesthesie medicatietrays, scopes, specula, anesthesieapparatuur,

bloeddrukbanden en chirurgisch instrumentarium. Omdat de studies van beide PICO's medische hulpmiddelen bevatten, worden deze als één groep beschouwd in de overwegingen en aanbevelingen en zullen de PICO's niet afhankelijk worden behandeld.

De bewijskracht voor de cruciale uitkomstmaten 'climate change' en 'waste' komt uit op *laag*. De bewijskracht voor de belangrijke uitkomstmaten komt uit ook uit op *laag*. Op basis van de GRADE beoordeling van de literatuur kunnen geen sterke conclusies geformuleerd worden over de precieze mate van milieu-impact van reusables en disposables. Echter, ondanks de methodologische verschillen tussen de LCA's, wijzen de resultaten wel dezelfde richting op. De resultaten van deze LCA's worden ondersteunt door twee CE Delft studies die zijn uitgevoerd voor de UMC Utrecht (CE Delft, 2022a; CE Delft, 2022b). Gezien deze consequente richting, geïdentificeerde hotspots en de urgentie om de milieu-impact te verminderen, beschouwt de werkgroep dit als afdoende ondersteuning om sterke aanbevelingen te formuleren. De werkgroep hoopt hiermee bewustwording te creëren bij zorgverleners en zo concreet mogelijk handvatten te bieden.

De LCA's (n=18) zijn kritisch beoordeeld op basis van de beoordeling volgens Drew (2021). De kwaliteit van de studies wordt hiermee beoordeeld op basis van de methodologie van een LCA. Dit scoresysteem bestaat uit 16 beoordelingscriteria, die zijn verdeeld over de verschillende fasen van een LCA. Het behandelt een reeks indicatoren voor studiekwaliteit, zoals *interne validiteit*, *externe validiteit*, *consistentie*, *transparantie* en *bias*. De procentuele score geeft een indicatie van de algehele studiekwaliteit. Een hogere score duidt op een hogere algehele studiekwaliteit (zie [bijlage 2](#)). Een beknopt overzicht van de scores staat weergegeven in tabel 1.

Tabel 1. Beoordeling LCA's volgens Drew (2021)

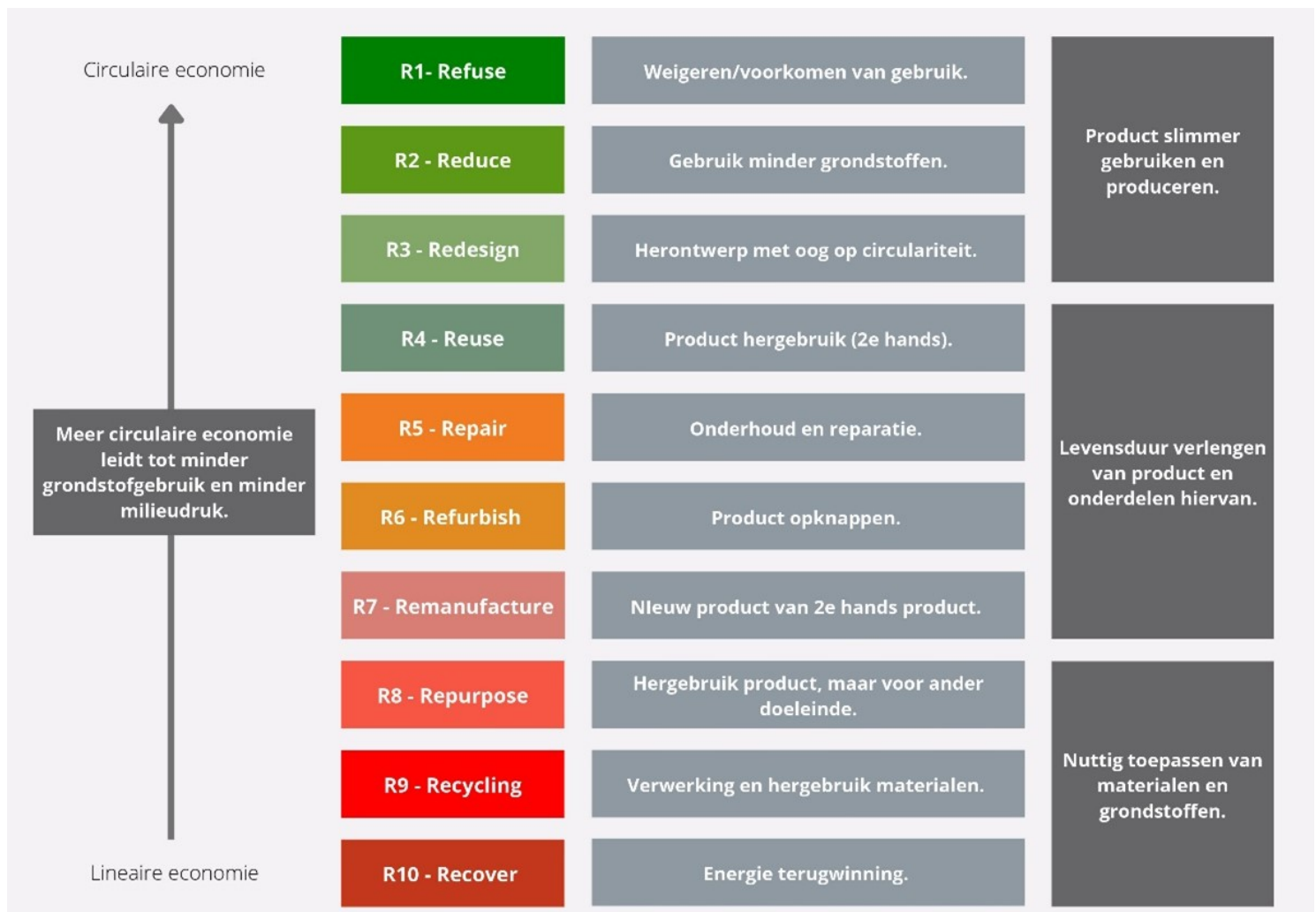
Uitgangsvraag 2.1		Uitgangsvraag 2.2	
Grimmond (2012)	71%	Davis (2018)	60%
Grimmond (2021)	71%	Donahue (2020)	83%
Hicks (2016)	77%	Eckelman (2012)	86%
McGain (2010)	80%	Ibbotson (2013)	76%
McPherson (2019)	77%	Leiden (2020)	73%
Vozzola (2018) (cleanroom)	77%	McGain (2012)	83%
Vozzola (2018) (isolation)	67%	McGain (2017)	66%
Vozzola (2020)	80%	Rizan (2021)	83%
		Sanchez (2020)	83%
		Scherman (2018)	86%

Indien disposables en reusables met elkaar worden vergeleken, moet de gehele levenscyclus en levensduur van de producten in acht worden genomen. Indien een reusable bijvoorbeeld 75 keer kan worden hergebruikt, wordt dit vergeleken met 75 disposable producten voor eenmalig gebruik. Hierbij is dus niet de gehele levensduur van de reusable variant meegenomen, wat leidt tot een ongelijke vergelijking. Daarnaast zal men zich bewust moeten zijn dat in de studie van Leiden (2020) de reusable instrument set uit veel meer instrumenten bestaat dan de disposable set. In andere LCA's wordt aangetoond dat bij meermalig gebruik van de reusable de negatieve milieu-impact afneemt, in vergelijking met de disposable variant (Drew, 2021; Grimmond, 2012; Grimmond, 2021; Hicks, 2016;

McGain, 2010; McPherson, 2019; Vozzola, 2018; Vozzola, 2018; Vozzola, 2020; Donahue, 2020; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; Sanchez, 2020; Sherman, 2018). Deze 14 LCA's impliceren dat het gebruik van reusables een lagere milieu-impact heeft in vergelijking tot het gebruik van disposables.

McGain (2017) vergeleek reusable en disposable anesthesie apparatuur en concludeerde dat de milieu-impact van hetzelfde type apparatuur (bijvoorbeeld reusable) kan variëren tussen verschillende continenten. Waar de disposables een lagere milieu-impact lijken te hebben in Australië, suggereren de resultaten dat de impact voor reusables lager zijn in de Verenigde Staten (VS), het Verenigd Koninkrijk (VK) en in Europa. Dit komt door het verschil in energiemix. Er zijn verschillende primaire energiebronnen, waaruit secundaire energie voor direct gebruik (zoals elektriciteit) wordt geproduceerd. Steenkool als energiebron voor de energiemix, zoals in Australië, leidt tot een grotere milieu-impact voor de reusables in vergelijking tot het gebruik van een andere energiemix (zoals bijv. energiebronnen van wind- en zonne-energie). De 'hotspot' in de levenscyclus van disposables is het productieproces.

Geïdentificeerde hotspots uit de studies worden geëvalueerd middels het '10R model circulariteit' (zie Figuur 1, gebaseerd op Cramer, 2014; Hanemaaijer, 2018; Potting, 2016; Reike, 2018). Deze R-ladder laat zien dat de hoogste prioriteit om duurzaam te werken 'refuse' is, oftewel, niet gebruiken. Hoe lager het grondstofgebruik, des te hoger op de R-ladder en hoe dichter je bij circulair werken bent.



Figuur 1. Prioriteitsvolgorde circulariteit strategieën

Refuse (R1) en Reduce (R2)

De werkgroep adviseert om kritisch te beoordelen of het gebruik van een product daadwerkelijk nodig is (R1-Refuse). Kijk hierbij kritisch of de gehele inhoud van steriele (instrument) netten en operatietrays daadwerkelijk gebruikt moeten worden en verminder de inhoud indien mogelijk. Aangezien LCA's laten zien dat het gebruik van disposables een grote negatieve milieu-impact heeft (met als 'hotspot' het productieproces), adviseert de werkgroep daarnaast om zoveel mogelijk met reusables te werken en disposables niet te gebruiken (R1-Refuse).

Indien het gebruik van disposables noodzakelijk lijkt te zijn, wees dan bewust van de hogere impact en probeer de hoeveelheid zo laag mogelijk te houden (R2-Reduce). Bepaal van tevoren de mate van inzet van een product of instrument. Bijvoorbeeld of een disposable multifunctioneel instrument (coaguleren en snijden) de voorkeur heeft of dat een reusable bipolaire schaar kan worden gebruikt. Dit scheelt zowel kosten als een minder negatieve milieu-impact. Daarnaast draagt een kleinere verpakking bij aan verlaging van de milieu-impact door minder materiaalgebruik. Indien er minder opslagruimte nodig is, kunnen met minder reisbewegingen ook hetzelfde aantal producten worden getransporteerd.

Redesign (R3)

Duurzaamheid zal als standaard moeten worden meegenomen in het (her)ontwerp van producten en instrumenten. De industrie zal leidend moeten zijn, door het aanbieden van producten met een langere levensduur. Hierbij moet worden samengewerkt om tot kwalitatief goede en duurzame producten te komen. De zorgverlener zal hierbij leiding moeten nemen en de industrie moeten wijzen op het belang van het aanbieden van duurzame medische hulpmiddelen.

In het ontwerp van disposables liggen ook kansen om de milieu-impact te beperken. Rizan (2021) vergelijkt hybride instrumentarium (deels reusable en deels disposable) met geheel disposable, waarbij het hybride instrumentarium milieuvriendelijker blijkt te zijn. Indien het niet mogelijk is om een chirurgisch instrument geheel reusable te maken en dezelfde functie te laten uitoefenen (bijvoorbeeld vanwege het niet kunnen reinigen en steriliseren door complex ontwerp), zou de ontwikkeling tot een hybride instrument de milieu-impact kunnen verlagen. Hier ligt de uitdaging voor ontwerpers om reusables of hybride instrumenten te ontwikkelen met dezelfde functie als de huidige disposables. Indien het onderdeel weer hergebruikt kan worden, leidt dit uiteindelijk tot minder grondstofverbruik en een lagere impact op het milieu.

Daarnaast zal de afvalverwerkingsfase moeten worden meegenomen in het ontwerp. Een product moet gemakkelijk te demonteren zijn (indien het uit meerdere onderdelen bestaat) en het moet duidelijk zijn uit welke materialen het bestaat, zodat afvalscheiding wordt vereenvoudigd.

Verder zal bij ontwikkeling van nieuwe producten of herontwerp van bestaande producten infectiepreventie moeten worden meegenomen. Zoek hierbij de samenwerking met infectiepreventie voor een adequate risicoafweging waarbij de risico's van een infectie/besmetting afgezet wordt tegen verduurzamingsmaatregelen.

Denk bij herontwerp ook aan een andere manier van het gebruik van instrumenten. Een standaard disposable hechting verwijder set wordt steriel verpakt en bestaat geheel uit disposable materialen. De vraag is of het nodig is om met een steriel set te werken, en of het disposable moet zijn. In overleg met de arbeidshygiënist of deskundige infectiepreventie is het mogelijk om alternatieven te exploreren.

Re-use (R4)

In de loop van de tijd is binnen de gezondheidszorg een wegwerpcultuur ontstaan en zijn de disposables niet meer weg te denken. Ook de grondstof schaarste zal op den duur problemen kunnen opleveren in de toeleveringsketen van disposables en daarnaast zal dit kunnen leiden tot een toename in kosten.

De meeste studies wijzen erop dat reusables een minder grote negatieve impact hebben op het milieu in vergelijking met disposables. Bij studies waar disposables een lagere milieu-impact hebben, hanteren de studies een andere energiemix dan wij in Europa hebben (Davis, 2018; McGain, 2017) of nemen ze niet de gehele levensduur van de reusables mee (Leiden, 2020; McGain, 2012). Deze laatste studies (Leiden, 2020; McGain, 2012) laten wel dezelfde hotspots zien als studies waarbij de reusables een lagere milieu-impact hebben (Drew, 2021; Grimmond, 2012; Grimmond, 2021; Hicks, 2016; McGain, 2010; McPherson, 2019; Vozzola, 2018; Vozzola, 2018; Vozzola, 2020; Donahue, 2020; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; Sanchez, 2020; Sherman, 2018), namelijk het productieproces van de disposables. Vanwege het productieproces, is de verwachting dat gebruik van disposables een grotere impact heeft op het milieu dan de reusables. Een 'schone' elektrische bron (bijvoorbeeld zonne- of windenergie) kan de impact van het productieproces verlagen (Grimmond, 2012; McPherson, 2019). De overstap van een CO₂-intensief naar een minder CO₂-intensief elektriciteitsnet resulteert in een reductie van CO₂-uitstoot (Donahue, 2020). Ongeacht welk elektriciteitsnet wordt gebruikt, de CO₂-uitstoot van reusables blijft lager in vergelijking met disposables.

Bij reusables geeft het reiniging en sterilisatieproces de grootste milieubelasting. Daarbij horen de volgende hotspots: energie en stoom voor autoclaven, transport, waterverbruik en de hoeveelheid instrumenten die tegelijkertijd worden gesteriliseerd (Donahue, 2020; Eckelman, 2012; Grimmond, 2012; Grimmond, 2021; McPherson, 2019). De werkgroep acht het belangrijk om nader dit te evalueren. In specifieke gevallen kan desinfectie voldoende zijn en hoeft er geen sterilisatie plaats te vinden. Desinfectie vraagt minder energie en is duurzamer. Hierin kan de Deskundige Steriele Medische Hulpmiddelen (DSMH) adviseren op basis van een risicoafweging. In de richtlijnen van het Samenwerkingsverband Richtlijnen Infectiepreventie (SRI) staat meer informatie over reiniging, desinfectie en sterilisatie van medische hulpmiddelen.

Eckelman (2012) vergelijkt het effect van alternatieve vervoerswijzen met spoorweg transport. Het effect van alternatieve vervoerswijzen (vervoer over de weg of door de lucht) ten opzichte van spoorweg transport is vrij klein voor reusables. Daarentegen leidt dit bij disposables tot een groot verschil ten opzichte van spoorweg transport, met name bij het vervoer door de lucht (sterke toename in CO₂-uitstoot).

Daarnaast rijst de vraag of het mogelijk is om disposable instrumenten opnieuw te gebruiken. Indien de fabrikant aangeeft dat dit niet mogelijk is, wordt hergebruik in de praktijk nagenoeg niet uitgevoerd. Indien dit wel het geval is, dan is de fabrikant niet meer verantwoordelijk, maar de eindgebruiker is dat zelf. Dit weerhoudt eindgebruikers om toch te hergebruiken. Geadviseerd wordt om actief samenwerking op te zoeken met de industrie om de mogelijkheden te onderzoeken en in te zetten op optimalisatie van de wetgeving (Medical Device Regulation – MDR) met als doel de regels rondom hergebruik te verruimen.

Repair (R5), Refurbish (R6), Remanufacture (R7)

De factoren R5-Repair, R6-Refurbish en R7-Remanufacture hangen nauw met elkaar samen. Eckelman (2012) stelt dat verkorting van de levensduur van reusables direct effect heeft op de uitstoot van broeikasgassen. Het verlengen van de hergebruikcyclus van reusable laryngeal mask airways (LMA) van 10 naar 100 cycli leidt tot een daling van 58% in CO₂-uitstoot. Voordat een product of apparaat wordt afgedankt, is het dus van belang om opnieuw te kijken of de levensduur verlengd kan worden. De werkgroep adviseert om het repareren of opknappen van producten standaard te overwegen.

Repurpose (R8), Recycling (R9), Recover (R10)

Indien een instrument of product niet meer gebruikt kan worden waarvoor het is bedoeld, kan worden gekeken naar een nieuw doeleinde (R8-Repurpose). Grimmond (2012) laat zien dat terugwinning van energie en materialen de milieu-impact van het productieproces kan verlagen (R9-Recycling en R10-Recover). Een voorbeeld is het inzamelen van gebruikte middelen met als doel om hoogwaardig gebruikte materialen terug te winnen (zoals bijvoorbeeld het inzamelen van staplers).

Waarden en voorkeuren van patiënten (en evt. hun verzorgers)

Voor de patiënt en zorgverlener is het van belang dat instrumenten en producten die worden gebruikt in de zorgverlening veilig en effectief zijn. Daarnaast heeft duurzaamheid van het product ook indirect een positief effect op de gezondheid van de mens. De werkgroep vindt het van belang om duurzaamheid naast andere overwegingen mee te nemen in de keuze tussen reusable en disposable producten.

Kosten (middelenbeslag)

Grimmond (2012) berekent een kostenbesparing van 19% bij het overstappen van disposables naar reusables. In de praktijk worden veelal op korte termijn beslissingen gemaakt wat betreft de keuze voor een instrument of product. Op de korte termijn is een disposable vaak goedkoper, echter een reusable zal initieel duurder zijn bij aanschaf maar door het hergebruik zal het zich in de meeste gevallen terugbetalen.

Aanvaardbaarheid, haalbaarheid en implementatie

De keuze voor reusables of disposables ligt bij de zorgverlener, wat wordt bepaald door veel verschillende factoren (bijvoorbeeld gebruiksgemak, patiëntvriendelijkheid veiligheid, effectiviteit). Kennisgebrek over de impact van disposables en reusables op het milieu zal een rol spelen in het maken van een beslissing. Het vergt bewustwording over de impact van de verschillende interventies en hun hotspots om duurzaamheid mee te kunnen laten wegen in een beslissing. De werkgroep voorziet geen grote barrières met betrekking tot aanvaardbaarheid, haalbaarheid en implementatie. Het is echter aan de Raad van Bestuur van ziekenhuizen om het verschil te maken door duurzame initiatieven te prioriteren.

Rationale van de aanbeveling: weging van argumenten voor en tegen de interventies

Op dit moment is de bewijskracht van LCA's laag tot zeer laag. Hoewel de literatuur heterogeen is en enkele methodologische beperkingen omvat, heeft de werkgroep een voorkeur voor het gebruik van reusables. Gezien het feit dat de resultaten van de LCA's consequent dezelfde richting op wijzen (i.e. hotspots duidelijk zijn), de urgentie om de milieu-impact te verminderen de positieve praktijk ervaring van de werkgroep met reusables, beschouwt de werkgroep dit als afdoende ondersteuning om sterke aanbevelingen te formuleren.

Als op basis van de literatuurconclusies en overwegingen geen duidelijke voorkeur is, gebruik dan reusables.

Onderbouwing

Achtergrond

De afgelopen decennia is er sprake van een toename in het aantal disposables in de klinische praktijk. Deze toename is te wijten aan de verschuiving van reusables naar disposables vanwege zorgen over steriliteit, gebruiksgemak, complexe apparatuur die niet goed schoon te maken is en het mogelijk falen van reusables (Siu, 2016). Omdat disposables maar eenmalig kunnen worden gebruikt, leidt dit tot hoge productiecijfers en relatief veel afval, wat een extra belasting op het milieu geeft. Het is echter onduidelijk welke impact het gebruik van reusables op het milieu heeft, in vergelijking met disposables. In deze module worden duurzaamheidsuitkomsten van disposables en reusables met elkaar vergeleken. Hierbij is onderscheidt gemaakt tussen algemene disposables/reusables en specifieke disposable/reusable medische instrumenten door twee deelvragen op te stellen.

Conclusies / Summary of Findings

Given that all comparisons involve the assessment of reusable versus disposable medical devices, conclusions regarding the level of evidence of literature from sub question 2.1 and sub question 2.2 are presented in one overview.

1. Climate Change

Low GRADE	The evidence suggests that reusables have less impact on climate change when compared to disposables in the operating room for patients who undergo surgery. <i>Sources: Grimmond, 2012; Grimmond, 2021; McPherson, 2019; Hicks, 2016; McGain, 2010; Vozzola, 2018; Vozzola, 2018; Vozzola, 2020; Davis, 2019; Donahue, 2020; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; Leiden, 2020; McGain, 2012; McGain, 2017; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Sherman, 2018</i>
------------------	---

2. Waste

Low GRADE	The evidence suggests that reusables decrease waste when compared to disposables in the operating room for patients who undergo surgery. <i>Sources: Grimmond, 2012; Grimmond, 2021; McPherson, 2019; Vozzola, 2018; Vozzola, 2020; Davis, 2018; McGain, 2017; Namburar, 2022</i>
------------------	---

3. Acidification

Low GRADE	The evidence suggests that reusables have less impact on acidification when compared to disposables in the operating room for patients who undergo surgery. <i>Sources: Hicks, 2016; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; Leiden, 2020; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Sherman, 2018</i>
------------------	--

4. Eutrophication

Low GRADE	The evidence suggests that reusables have less impact on eutrophication when compared to disposables in the operating room for patients who undergo surgery. <i>Sources: Hicks, 2016; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; Leiden, 2020; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Sherman, 2018</i>
------------------	---

5. Human toxicity

Low GRADE	The evidence suggests that reusables have less impact on human toxicity when compared to disposables in the operating room for patients who undergo surgery. <i>Sources: Hicks, 2016; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; McGain, 2017; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Sherman, 2018</i>
------------------	---

6. Ecotoxicity

Low GRADE	The evidence suggests that reusables have less impact on ecotoxicity when compared to disposables in the operating room for patients who undergo surgery. <i>Sources: Hicks, 2016; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; McGain, 2017; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Sherman, 2018</i>
------------------	--

7. Ozone depletion

Low GRADE	The evidence suggests that reusables have less impact on ozone depletion when compared to disposables in the operating room for patients who undergo surgery. <i>Sources: Hicks, 2016; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Sherman, 2018</i>
------------------	--

Samenvatting literatuur

Summary of literature – Sub-question 2.1 reusables versus disposables

Description of studies

Drew (2021) describes a systematic review of life cycle assessments (LCAs) in anaesthetic and surgical care. It aims to summarize the state of LCA practice via review of literature assessing the environmental impact of related services, procedures, equipment and pharmaceuticals. The review was guided by using STARR-LCA, which is a PRISMA-based framework. Studies were included if they assessed the environmental impact(s) of (1) an operating room(s) using LCA, (2) a specific surgical procedure(s) using LCA or (3) equipment or pharmaceuticals used in surgical settings. In total 44 studies were included. Of these studies, one study examined the impact contributions from ORs generally, 10 studies from specific surgical procedures and 33 assessed the environmental impact from provision and use of surgical or anaesthetic equipment or

pharmaceuticals. Eligible studies varied in terms of quality, completeness and risk of bias, with critical appraisal scores varying between 44% and 89%. Relevant outcome measures included climate change, waste, acidification, eutrophication, human toxicity, ecotoxicity and ozone depletion.

Grimmond (2012) compared the environmental impact of a reusable sharps container system with a single-use one. A life cycle assessment (LCA) framework was used to assess the climate impact of the two different sharps container systems. The single use sharps containers (SSC) were evaluated for over a 12-month period prior to Northwestern Memorial Hospital's transition to a reusable-based system. The reusable sharps containers (RSC) (certified for 500 applications) were assessed over the following 12-month period, excluding the transition month from the analysis to avoid data overlap. Data was collected regarding the size, type, and number of reusable sharps containers used, as well as protocols with information about the changeout when the containers were full. Data was extracted from a variety of industry and government sources and combined with a Life Cycle Inventory (LCI)/LCA tool developed by the Waterman Group UK, which included all the energy dependent processes required for any needle collection system. The outcome measures were climate change and waste. A limitation was that this study is conducted in the USA with all processes related to 1 hospital, which might limit the generalizability.

Grimmond (2021) compared the global warming potential (GWP) of hospitals converting from single-use sharps containers (SSC) to reusable sharps containers (RSC) by using an attributional LCA model. The intervention was the conversion from SSC to RSC in 40 NHS hospitals in the United Kingdom. A 12-month period of usage of SSC was compared with a 12-month usage of RSC. The functional unit was total fill line litres (FLL) of sharps containers needed to dispose of sharps for a 1-year period. SSC and RSC usage details in 17 baseline hospitals immediately prior to 2018 were applied to the RSC usage details of the 40 trusts using RSC in 2019. The outcome measures were climate change and waste. A limitation could be that the results of SSC has been extrapolated from 17 hospitals to 40 and therefore the representativeness of data might not be accurate.

Hicks (2016) conducted an LCA to compare the environmental impact of reusable patient hospital gowns coated with nanoscale silver (nAg) product compared to the use of nAg-coated disposable gowns in a case study. First, the environmental impact of 4600 ug nAg was determined (the amount added to a hospital gown). Second, the life cycle impacts of nAg-enabled reusable hospital gowns per one wear are modelled and midpoint environmental data are compared. The outcome measures were climate change acidification, eutrophication, human toxicity, ecotoxicity and ozone depletion. Limitations were that only one attachment and synthesis process was analyzed, the environmental impact of excess silver during synthesis and the silver lost was not explored, and that the comparisons of reusable and disposable gowns relied on prior work and utilizes only one impact category.

McGain (2010) modelled the financial and environmental costs of two commonly used anaesthetic drug trays using LCA. This study was performed at a single-centre in Australia. Three trays were compared: 1) reusable tray, 2) single-use tray, and 3) single-use tray with cotton and paper. Data was collected directly from measurements and from databases (EcoInvent). The single-use trays were plastic Chinese-made trays (group

2, 3), and the reusable trays (group 1) were Australian-made nylon trays. The outcome measure was climate change. Since not all data was available, a European energy mix was used, although the Chinese energy mix might be more coal reliant and thus have a higher environmental impact.

McPherson (2019) examined the life cycle carbon footprint of disposable sharps containers (DSC) and reusable sharps containers (RSC) over a 12-month period of facility-wide usage at a hospital geographically distant from manufacturing and processing plants, and include all unit processes in manufacture, transport, washing and treatment and disposal stages. A cradle to-grave life cycle inventory (LCI) and a product-system assessment tool were utilized. This study was perfect in a multi-centre setting in the US. The outcome measures were climate change and waste. A few limitations were considered. First, the assumption was made regarding the location of the polymer manufacturer for DSC, since there was no actual data available. Second, a UK database was used to measure the impact of transport.

Vozzola (2018) conducted an LCA to assess the environmental impacts of two different isolation gowns: reusable and disposable. The functional unit was 1000 isolation gowns uses. This study is an analysis from cradle to grave including manufacturing, use and end-of-life stages of the gown systems. The Environmental Clarity, Inc. LCA database was used to evaluate the life cycles of both isolation gown systems. Sixteen disposable isolations gowns from 5 suppliers were studied, composed primarily of nonwoven polypropylene fabric. Eight reusable isolation gowns were studied, composed of primarily woven polyester fabric. The outcome measures were climate change and waste.

Vozzola (2018) conducted an LCA to assess the environmental impacts of two different cleanroom coveralls: reusable and disposable. This study is an analysis from cradle to grave, quantifying parameters such as energy use and GHG emissions, including different phases: raw material extraction, production, packaging, transport, reuse and disposal in the USA. The outcome measures were climate change and waste. Although Vozzola did compare the packaging material between the reusable and disposable cleanroom coveralls, it was not exactly quantified. The packaging materials vary between the supply companies, and in this study representative materials are used for the different companies, which are therefore not precisely defined per company. This means the data used may deviate from the actual data.

Vozzola (2020) analysed the life cycle of reusable versus disposable gowns to assess the environmental impact of these surgical gowns in the USA. An LCA was conducted according to the standards from the International Organization for Standardization. The Environmental Clarity, Inc. LCA database was used to evaluate the life cycles of both surgical gown systems. The outcome measures were climate change and waste.

Summary of literature – Sub-question 2.2 specific reusable medical instruments versus disposable medical instruments

Description of studies

Davis (2018) compared the environmental impact of single-use flexible ureteroscopes with reusable flexible ureteroscopes. An LCA of the LithoVue single-use digital flexible ureteroscope and Olympus Flexible Video Ureteroscope (URV-F) was performed. Data on raw material extraction, manufacturing, reuse and disposal of the instruments was obtained. The solid waste generated (kg) and energy consumed (kWh) during each case

were quantified and used to calculate the CO₂ footprint. The outcome measures were climate change and waste. It should be mentioned that data are compared per case, while reusable ureteroscopes can be used multiple times. This might underestimate the actual environmental impact.

Donahue (2020) applied life cycle assessment methods to evaluate the carbon footprints of 3 vaginal specula: a single-use acrylic model and two reusable stainless steel models (grade 304 speculum and grade 316 speculum). Data were obtained regarding packaging composition and weight. As there were no data available on production processes, assumptions were made. For the acrylic specula injection molding was assumed and for the reusable specula a combination of hot extrusion, milling/turning, deformation and heat treatment was assumed, based on literature. The transportation was based on manufacturer and general industry data. Reuse for the steel reusable specula was estimated based on autoclave manufacturer specifications. Disposal was modelled with the use of the EPA WARM model, which estimates the average greenhouse gas (GHG) emissions that are associated with disposal of various materials in the USA. Outcome measure was climate change.

Eckelman (2012) assessed the environmental impacts of two types of laryngeal mask airways (LMAs): single-use and reusable (40 lifetime uses) by an LCA. The functional unit was 40 cycles, which meant 40 disposable LMA uses or 40 uses of 1 reusable LMA in the Yale New Haven Hospital, USA. Raw material extraction, production, packaging, transport, reuse and disposal were included in the analysis. The material composition and weights were established on the basis of manufacturer information and density testing. Materials were matched with the most appropriate Life Cycle Inventory (LCI) records from EcolInvent (database). Production processes for hard and soft plastics were assumed to be injection molding and thermoforming, respectively. Data was obtained from distributors to estimate distances and mode of transport. Reprocessing of reusable LMAs was estimated using data from Yale New Haven Hospital and autoclave specifications. Disposal was modelled using US average statistics for solid waste. Outcome measures were climate change, acidification, eutrophication, human toxicity, ecotoxicity and ozone depletion.

Ibbotson (2013) The environmental and financial impacts of three surgical scissors which are (1) disposable scissors made of plastic (fibre reinforced), (2) disposable scissors made of stainless steel, and (3) reusable scissors made of stainless steel were assessed using an LCA and life cycle costing method. Data was compared for the use of 4,500 cycles in Germany. The data on raw material, manufacturing (including electricity consumption), transport, and disposal process were obtained from a medical company in Europe. Missing data (e.g. sterilization processes for reusable scissors) were obtained from the literature or expert opinion. Electricity data that was missing was adjusted from the International Energy Agency (IEA). Incineration of plastics, cardboard and municipal solid waste were assumed based on Swiss plants in 2000 (from EcolInvent). The outcome measures were climate change, acidification, eutrophication, human toxicity, ecotoxicity and ozone depletion. Due to missing data another energy mix and recycling data was used. Data sources were not comparable between the scissors, since the plastic disposable and stainless steel reusable data was obtained from company data and the stainless steel disposable scissor data was obtained from literature.

Leiden (2020) compared a reusable and a disposable instrument set for one single surgery lumbar fusion in Germany. Data on manufacturing was based on weight, material and form of instruments, data of

transportation on mode and calculated distances between producer, distributor, and hospital and washing and steam sterilization data was specific to a German hospital. Disposal was modelled using Ecolnvent waste incineration processes. Outcome measures were climate change and acidification. An important limitation could be that only one surgery is compared, which seems invalid for the reusable set. In the sensitivity analysis the impact of the reusable set for 300 use cycles is quantified, however this is compared to one use cycle of the disposable set, and therefore not accurate. Furthermore, the comparison was made between a reusable set comprising six boxes with eleven trays (weight 45.5 kg) with a very lean disposable set (2 kg). For comparison purposes it is also important to note that sterilisation was performed outside the hospital, which increases the environmental impact because of transportation. The study was funded by Neomedical S.A., the producer of the disposable instrument set.

McGain (2012) assessed the environmental and financial impacts of a single-use and a reusable venous catheter insertion kit at the Western Health group of hospitals in Australia. They also investigated the effect of the source of electricity on CO₂ emissions. The functional unit was the use of one central venous catheter kit to aid insertion of a single-use, central venous catheter in an operating room. Data on the components was obtained by weighing and manufacturer data. Direct data regarding materials and energy were collected using a "time-in-motion" study. Other inputs were acquired from LCI databases or industry data. Electricity and hot and cold water used by the washer and sterilizer were measured. Data on waste disposal processes were obtained indirectly from industry data. The outcome measure was climate change. A limitation of the study was that the reusable insertion kit is compared to the disposable for one use of inserting the single-use central venous catheter. Calculating the difference between the outcomes when reusing this kit is not taken into account and could yet obtain more accurate results.

McGain (2017) assessed the environmental and financial impact of reusable and single-use anaesthetic equipment through a consequential LCA approach. Five scenarios were assessed and included: (1) "all reusable anaesthetic equipment", (2) "all disposable anaesthetic equipment except for reusable handles for direct laryngoscopes", (3) "all disposable/single-use anaesthetic equipment (including single-use direct laryngoscope handles; modelled practice)", (4) "replace only reusable face masks with single-use face masks", (5) "replace only direct laryngoscope reusable blades with single-use blades". Data on equipment were obtained from two hospitals in Melbourne, Australia in 2015 and each piece of equipment was weighed with an electronic balance. Sterilization records and input from one hospital were used to define sterilization mode and load information. Washer and steam sterilizer utility usage data were taken from a previous study by the same authors, while electricity consumption of a standard H₂O₂ sterilizer was directly measured over several days. All other data were sourced from inventory databases based on average industry inputs. Outcome measures were climate change, eutrophication, waste, human toxicity and ecotoxicity.

Namburar (2022) performed an audit of waste generated during endoscopic procedures at a low and high endoscopy volume academic medical centre in the USA over a 5-day work period in 2020. Colonoscopies, upper endoscopies, and endoscopic retrograde cholangiopancreatography were included. The waste from the pre-procedure area, examination room and post-procedure area was collected. In the high volume hospital the waste from endoscope reprocessing was also obtained. An estimation of the contribution of single-use (compared to reusable) waste was made in the following three scenarios: (1) all reusable

endoscopes, (2) colonoscopies and ERCPs were performed with single-use endoscopes (colonoscopes/duodenoscopes) and (3) all single-use endoscopes. Outcome measure was waste. The study aims to estimate the environmental impact of an endoscopic procedure, however, only describes the amount of waste and does not calculate the actual environmental impact.

Rizan (2021) assessed environmental and financial impacts of hybrid and single-use instruments in laparoscopic cholecystectomy using an LCA. The number of three types of instruments (clip applicators, laparoscopic scissors, ports) were included in the analysis (two small diameter ports, two large diameter ports, one laparoscopic scissor and one laparoscopic clip applicator). The stages of raw material extraction, manufacture, transport, disposal and decontamination for reusable components of hybrid instruments were included. Data was obtained from manufacturers and databases. Outcomes were climate change, acidification, eutrophication, human toxicity, ecotoxicity and ozone depletion.

Sanchez (2020) assessed the environmental and economic impacts of reusable and disposable blood pressure cuffs by using LCA. Data on materials and manufacturing was gathered through manufacturer information and physical testing (by weighing component on a scale), components were identified and matched with information from inventory databases (US-EI LCI database), and the US EPA database was used for transport packaging information. Multiple cleaning scenarios were developed to represent a diversity of clinical settings in using and cleaning. For disposal data landfill and incineration were included. The lifespan of the reusable cuff is taken to be three years, as described in the manufacturer's specifications. Outcome measures were climate change, acidification, eutrophication, human toxicity, ecotoxicity and ozone depletion. There is data uncertainty associated with some of the modelling parameters (e.g. energy, blood pressure cuff materials).

Sherman (2018) assessed the environmental and financial impacts of three different types of rigid laryngoscope handle and tongue blade: plastic single-use, metal single-use, and stainless steel reusable by using LCA and life cycle costing. To determine the material composition of handles and blades a combination of manufacturer specifications, deconstruction, and density testing were used, and after each material was weighed. Foreground data were collected, including transportation mode and distance; washer and autoclave-related energy, water, and chemical use. Reusable components were assumed to have a lifespan of 4000 uses and require refurbishment every 40 uses, according to rated lifetimes of each component. For disposal data recycling, incineration and landfill were included. Outcome measures were climate change, acidification, eutrophication, human toxicity, ecotoxicity and ozone depletion.

Results

In this module the results and environmental hotspots are presented in a separate table per outcome measure to provide an overview. A more detailed summary of the methods, results, and interpretation is depicted in the evidence table. The results could not be pooled due to different functional units, assumptions, methods, and comparison. Given that all comparisons involve the assessment of reusable versus disposable medical devices, the results from sub question 2.1 (n=9: Grimmond, 2012; Grimmond, 2021; Hicks, 2016; McGain, 2010; McPherson, 2019; Vozzola, 2018; Vozzola, 2018; Vozzola, 2020) and sub question 2.2 (n= 11: Davis, 2018; Donahue, 2020; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; Leiden, 2020; McGain, 2012; McGain, 2017; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Scherman, 2018) are presented in one overview.

1. Climate Change

Eighteen out of twenty studies reported on the outcome climate change (Grimmond, 2012; Grimmond, 2021; McPherson, 2019; Hicks, 2016; McGain, 2010; Vozzola, 2018; Vozzola, 2018; Vozzola, 2020; Davis, 2019; Donahue, 2020; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; Leiden, 2020; McGain, 2012; McGain, 2017; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Sherman, 2018). The 18 studies contained 16 comparisons. A summary of the results is presented in Table 1. Most studies resulted in a difference in favour of reusables.

Table 1. Outcome climate change: summary of results

Study	Comparison	Functional unit	Outcomes climate change	Hotspots	Difference
Comparison 1.1 Disposable versus reusable sharps containers					
Grimmond (2012)	Disposable sharps containers	Provision for 100 occupied hospital beds (OB) over one year	GWP: 24.2 MTCO ₂ eq 100-OB year	Manufacturing process	83.5% in favour of reusables.
	Reusable sharps containers		GWP: 4.0 MTCO ₂ eq 100-OB year	Washing process	
Grimmond (2021)	Disposable sharps containers	Total fill line litres (FLL) of sharps containers needed to dispose of sharps for 1-year period in 40 hospitals.	GWP: 3896.4 MTCO ₂ eq for SSC	Manufacturing process	83.9% in favour of reusables.
	Reusable sharps containers		GWP: 628.9 MTCO ₂ eq for SSC	Transport	
McPherson (2019)	Disposable sharps containers	Provision of sharps containers at one healthcare facility for one year	GWP: 248.62 MTCO ₂ eq	Manufacturing process	65.3% in favour of reusables.
	Reusable sharps containers		GWP: 86.19 MTCO ₂ eq	Transport	
Comparison 1.2 Disposable versus reusable patient hospital gowns					
Hicks (2016)	Disposable patient gownscoated with nAg (nanosilver)	-4600 ug of nAg (amount added to hospital gown) -Per one wear and laundering (over a lifetime of 75 wearings)	Synthesis nanosilver (nAg): GWP: 1.17 x 10 ⁻³ kg CO ₂ eq. nAg attachment: GWP: 7.90 x 10 ⁻² kg CO ₂ eq per gown. Reapplication nAg for every gown (75 times)	The impact is greater to attach the nAg to the textile than it is to synthesize it.	94.1% in favour of reusables.
	Reusable patient gowns coated with nAg (nanosilver)		Reapplication nAg at each set of 17 launderings (± 4.4 times)		
Comparison 1.3 Disposable versus reusable anaesthetic drug trays					
McGain (2010)	Disposable drug trays	Use of one plastic anesthetic drug tray (+/- use of 2 cotton gauzes and 1 paper towel)	126 g CO ₂ + cotton/paper: 203 g CO ₂	Tray production	16 g CO ₂ , in favour of reusables.
	Reusable drug trays		110 g of CO ₂ + cotton/paper: 187 g CO ₂	Tray washing	
Comparison 1.4 Disposable versus reusable isolation gowns					
Vozzola (2018)	Disposable isolation gown	1,000 isolation gown uses	310 kg CO ₂ equivalents	Manufacturing process	92 kg CO ₂ -eq. in favour of reusables.
	Reusable isolation gown		218 kg CO ₂ equivalents	Laundry and manufacturing	
Comparison 1.5 Disposable versus reusable cleanroom coveralls					
Vozzola (2018)	Disposable coveralls (made from HDPE and PP)	1,000 garment uses	CO ₂ footprint HDPE: 712 kg CO ₂ eq and PP: 1220 kg CO ₂ eq	Manufacturing process	27.4% (HDPE) resp. 57.6% (PP) in favour of reusables.
	Reusable cleanroom coveralls		CO ₂ footprint: 517 kg CO ₂ eq	Laundry process	
Comparison 1.6 Disposable versus reusable surgical gowns					
Vozzola (2020)	Disposable surgical	1,000 uses of an	GWP: 1636 kg CO ₂ eq	Manufacturing process	66% in favour of

	gown	extra large, single-piece, long-sleeved surgical gown in an operating room setting			reusables.
	Reusable surgical gown		GWP: 557 kg CO ₂ eq	Laundry process	
Comparison 1.7 Disposable flexible ureteroscopes versus reusable flexible ureteroscopes					
Davis (2019)	Single-use flexible ureteroscope	Use of one ureteroscope during one endourologic case	CO ₂ footprint per case is 4.43 kg CO ₂ eq	Manufacturing process	Comparable, however comparison per case and not the whole life cycle of reusable ureteroscope.
	Reusable flexible ureteroscope (typically 16 uses before repair and 180 uses before decommissioning)		CO ₂ footprint per case is 4.47 kg CO ₂ eq	Washing/sterilization	
Comparison 1.8 Disposable versus reusable specula					
Donahue (2020)	Single-use acrylic speculum and the	Completion of 20 gynaecologic examinations using a speculum	17.54 kg CO ₂ eq	Material production and manufacturing	67.4% (grade 304) 62.9% (grade 316) in favour of reusables.
	Reusable stainless steel grade 304 speculum		5.72 kg CO ₂ eq	Use/reprocessing	
	Reusable stainless steel grade 316 speculum		6.51 kg CO ₂ eq	Use/reprocessing	
Comparison 1.9 Disposable versus reusable laryngeal airway masks (LMAs)					
Eckelman (2012)	Single-use laryngeal mask airways (LMAs)	Maintenance of 40 airways	11.3 kg CO ₂ eq	Production material	34.5% in favour of reusables.
	Reusable laryngeal mask airways (LMAs)		7.4 kg CO ₂ eq	Production of steam for the autoclave	
Comparison 1.10 Disposable versus reusable surgical scissors					
Ibbotson (2013)	Disposable scissors made of plastic (fibre reinforced)	4,500 use cycles of surgical scissors during 18 years	5500 kg CO ₂ -eq*	Manufacturing process	Difference of 9450 kg CO ₂ -eq and 4950 kg CO ₂ -eq in favour of reusables.
	Disposable scissors made of stainless steel		10,000 kg CO ₂ -eq*	Manufacturing process	
	Reusable scissors made of stainless steel		550 kg CO ₂ -eq*	Usage: Washing, disinfection, sterilization and repair/service	
Comparison 1.11 Disposable versus reusable surgical instrument set					
Leiden (2020)	Disposable instrument set for single-level lumbar fusion surgeries	The surgical instrument set required for one single-level lumbar fusion surgery involving the implantation of four screws and two rods	GWP: 10-20%	Production process	80-90% in favour of disposable. However, 1 surgery as functional unit (FU).
	Reusable instrument set for single-level lumbar fusion surgeries		GWP: 100%	Sterilization process	
Comparison 1.12 Disposable versus reusable central venous catheter insertion kit					
McGain (2012)	Single-use central venous catheter insertion kits	Use of one central venous catheter kit to aid insertion of a single-use, central venous catheter in an operating room.	407 grams of CO ₂	Plastic use	804 grams of CO ₂ in favour of single-use. However, 1 use as functional unit (FU).
	Reusable central venous catheter insertion kits		1211 grams of CO ₂	Washing and sterilization process	
Comparison 1.13 Anaesthetic equipment (including anesthetic circuits, face masks, LMAs, direct and videolaryngoscope blades and handles)					
McGain (2017)	Single-use anesthetic	Use of breathing circuits, face masks,	(1) completely reusable - 5575 kg CO ₂ eq	Washer electricity	Converting from single-use to

	equipment	LMAs, and direct and videolaryngoscopes at one hospital over one year	(2) mainly single-use except for reusable laryngoscope handles - 5095 kg CO ₂ eq	Purchasing single use face masks and single-use direct laryngoscope blades	reusable leads to an increase of almost 10% (Australia). Converting from single-use to reusable in US or UK/Europe leads to a decrease of the impact (US 50% and UK/Europe 85%).
	Reusable anesthetic equipment		(3) completely single-use - 5775 kg CO ₂ eq	Purchasing single-use items	
			(4) reusables (except the single-use face masks) - 6556 kg CO ₂ eq	Washing process and purchasing single use face masks	
			(5) reusables (except single-use laryngoscope blades) - 6763 kg CO ₂ eq	Washing process and purchasing single-use laryngoscope blades	
			Comparison 1.14 Hybrid and single-use instrument in laparoscopic cholecystectomy		
Rizan (2021)	Hybrid instruments in laparoscopic cholecystectomy	The number of three types of instruments (clip appliers, laparoscopic scissors and ports) typically required to perform one laparoscopic cholecystectomy	1756 g CO ₂ eq	Single-use components and decontamination of reusables.	76% in favour of hybrid instruments.
	Single-use instruments in laparoscopic cholecystectomy		7194 g CO ₂ eq	Manufacturing and raw material extraction process, transportation and waste.	
Comparison 1.15 Disposable versus reusable blood pressure cuffs					
Sanchez (2020)	Disposable blood pressure (BP) cuffs	Providing blood pressure readings for a clinic room or ward, under four different health care delivery scenarios.	Using 4 different scenarios: (1) Day office, (2) 1 Day Ambulatory Procedure, (3) 1 Day Regular Ward and (4) 1 Day ICU. Reusable cuffs have a lesser impact. See results in table study (Sanchez, 2020) (see evidence table for more detailed information)	Material and manufacturing process	Reusable cuffs have a lesser impact.
	Reusable BP cuffs			Production of chemical wipes for cleaning	
Comparison 1.16 Disposable versus reusable laryngoscope handles and blades					
Sherman (2018)	Single-use laryngoscope handles and blades	One handle or one blade for a single patient encounter.	Different cleaning scenarios (low-level disinfection levels (LDL), high-level disinfection levels (HDL) and sterilization) are included in the analysis. The most favourable scenario for the handles and blades is the reusable stainless steel, treated to HDL standards.	Material manufacturing and device assembly.	The single-use handle has a 25 times bigger CO ₂ footprint compared to the reusable version.
	Reusable laryngoscope handles and blades			Reprocessing and source of cleaning.	

*Read from figure (Ibbotson, 2013)

*Read from figure (Ibbotson, 2013)

2. Waste

Eight out of twenty studies reported on the outcome waste (Grimmond, 2012; Grimmond, 2021; McPherson, 2019; Vozzola, 2018; Vozzola, 2020; Davis, 2018; McGain, 2017; Nambur, 2022). The eight studies contained 6 comparisons. A summary of the results is presented in Table 2. All studies resulted in a difference

in favour of reusables.

Table 2. Outcome measure waste: summary of results

Study	Comparison	Functional unit	Outcomes waste	Difference
Comparison 2.1 Disposable versus reusable sharps containers				
Grimmond (2012)	Disposable sharps containers	Provision for 100 occupied hospital beds (OB) over one year	30,920 kg plastic waste and 5020 kg of cardboard boxes	30,979 kg resp. 4904 kg more waste for disposable
	Reusable sharps containers		123 kg of plastic waste and 116 kg of waste from carboard boxes	
Grimmond (2021)	Disposable sharps containers	Total fill line litres (FLL) of sharps containers needed to dispose of sharps for 1-year period in 40 hospitals.	928.7 kg incinerated plastic and 136.6 kg of cardboard boxes	1065.3 kg waste more for disposable
	Reusable sharps containers		No waste since reused or recycled.	
McPherson (2019)	Disposable sharps containers	Provision of sharps containers at one healthcare facility for one year	31.8 tonnes of landfilled plastic, 18.8 tonnes of incinerated plastic and 8.2 tonnes of cardboard boxes	50.2 tonnes of plastic and 8.1 tonnes of carboard boxes more for disposable
	Reusable sharps containers		0.4 tonnes of plastic waste and 0.1 kg of waste from carboard boxes	
Comparison 2.2 Disposable versus reusable isolation gowns				
Vozzola (2018)	Disposable isolation gowns	1,000 isolation gown uses	63.4 kg solid waste/1,000 uses	59 - 63 kg more waste for disposables compare to reusables
	Reusable isolation gowns		0.413-4.42 kg solid waste/1,000 uses (range dependent on reuse in other industries; 0-100% reuse)	
Comparison 2.3 Disposable versus reusable surgical gowns				
Vozzola (2020)	Disposable surgical gown	1,000 uses of an extra large, single-piece, long-sleeved surgical gown in an operating room setting	Solid waste 265 kg (gown manufacturing 224 kg, packaging and manufacturing and supply chain 40.3 kg, end of life 0.505 kg)	184.5 kg more for disposable
	Reusable surgical gown		Solid waste 35.5-43.4 kg (gown manufacturing 0-7.9 kg, packaging and manufacturing and supply chain 35.5 kg, end of life 0.008 kg)	
Comparison 2.4 Disposable flexible ureteroscopes versus reusable flexible ureteroscopes				
Davis (2018)	Single-use flexible ureteroscope	Use of one ureteroscope during one endourologic case	Solid waste 0.3 kg CO ₂ per case	0.295 kg CO ₂ more for disposable
	Reusable flexible ureteroscope (typically 16 uses before repair and 180 uses before decommissioning)		Solid waste 0.005 kg CO ₂ per case	
Comparison 2.5 Five scenarios of anaesthetic equipment (including anesthetic circuits, face masks, LMAs, direct and videolaryngoscope blades and handles)				
McGain (2017)*	Single-use anesthetic equipment	Use of breathing circuits, face masks, LMAs, and direct and video laryngoscopes at one hospital over one year	1. 250 kg	More waste in case of the use of disposables (range 250-1542).
	Reusable anesthetic equipment		2. 1222 kg	
			3. 1542 kg	
			4. 375 kg	
			5. 917 kg	
Comparison 2.6 Disposable versus reusable endoscopes				
Almubarak (2017)	All reusable endoscopes	N/A	43,500 metric tons	17,400 metric tons

Normaal (2022)	All reusable endoscopes	N/A	43,300 metric tons	17400 metric tons more for single-use compared to reusable
	Colonoscopies and ERCPs were performed with single-use endoscopes (colonoscopes/duodenoscopes)		54,375 metric tons	
	All single-use endoscopes.		60,900 metric tons	

*Five scenarios: (1) "all reusable anaesthetic equipment", (2) "all disposable anaesthetic equipment except for reusable handles for direct laryngoscopes", (3) " all disposable/single-use anaesthetic equipment (including single-use direct laryngoscope handles; modelled practice)", (4) "replace only reusable face masks with single-use face masks", (5) "replace only direct laryngoscope reusable blades with single-use blades".

3. Acidification

Seven out of twenty studies reported on the outcome acidification (Hicks, 2016; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; Leiden, 2020; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Sherman, 2018). The seven studies contained seven comparisons. A summary of the results is presented in Table 3. Most studies resulted in a difference in favour of reusables.

Table 3. Outcome measure acidification: summary of results

Study	Comparison	Functional unit	Outcomes acidification	Hotspots	Difference
Comparison 3.1 Disposable versus reusable patient hospital gowns					
Hicks (2016)	Disposable patient gownscoated with nAg (nanosilver)	-4600 ug of nAg (amount added to hospital gown) -Per one wear and laundering (over a lifetime of 75 wearings)	* Synthesis nAg: 9.99×10^{-4} mol H+ equivalents. nAg attachment 2.66×10^{-2} H+ * Reapplication nAg for every gown (75 times)	The impact is greater to attach the nAg to the textile than it is to synthesize it	94.3% in favour of reusables.
	Reusable patient gowns coated with nAg (nanosilver)		Reapplication nAg at each set of 17 laundering (± 4.4 times)		
Comparison 3.2 Disposable versus reusable laryngeal airway masks (LMAs)					
Eckelman (2012)	Single-use laryngeal mask airways (LMAs)	Maintenance of 40 airways	100%	N/A	70-80% in favour of reusables.
	Reusable laryngeal mask airways (LMAs)		20-30%	N/A	
Comparison 3.3 Disposable versus reusable surgical instrument set					
Ibbotson (2013)	Disposable scissors made of plastic (fibre reinforced)	4,500 use cycles of surgical scissors during 18 years	20 kg SO ₂ -equivalents*	Manufacturing process	Difference of 89.2 kg SO ₂ -eq and 19.2 kg SO ₂ -eq in favour of reusables.
	Disposable scissors made of stainless steel		90 kg SO ₂ -equivalents*	Manufacturing process	
	Reusable scissors made of stainless steel		0.8 kg SO ₂ -equivalents*	Usage: Washing, disinfection, sterilization and repair/service	
Comparison 3.4 Disposable versus reusable surgical scissors					
Leiden (2020)	Disposable instrument set for single-level lumbar fusion surgeries	The surgical instrument set required for one single-level lumbar fusion surgery involving the implantation of four screws and two rods	30-40%	Production process	60-70% in favour of disposable. However, 1 surgery as functional unit (FU).
	Reusable instrument set for single-level lumbar fusion surgeries		100%	Sterilization process	
Comparison 3.5 Hybrid and single-use instrument in laparoscopic cholecystectomy					
Rizan (2021)	Hybrid instruments in laparoscopic cholecystectomy	The number of three types of instruments (clip appliers, laparoscopic scissors and ports) typically required to perform one laparoscopic cholecystectomy	Ports: 2.08 g SO ₂ eq Laparoscopic clip applier: 1.18 g SO ₂ eq Laparoscopic scissors: 1.44 g SO ₂ eq	N/A	* Ports 76.6% in favour of hybrid instruments. * Laparoscopic clip applier 86.2% in favour of hybrid instruments. * Laparoscopic scissors 67.7% in favour of hybrid instruments.
	Single-use instruments in laparoscopic cholecystectomy		Ports 8.91 SO ₂ eq Laparoscopic clip applier 8.53 g SO ₂ eq Laparoscopic scissors: 4.46 g SO ₂ eq	N/A	
Comparison 3.6 Disposable versus reusable blood pressure cuffs					
Sanchez (2020)	Disposable blood pressure (BP) cuffs	Providing blood pressure readings for a clinic room or ward, under four different health care delivery scenarios.	Using 4 different scenarios: (1) Day office, (2) 1 Day Ambulatory Procedure, (3) 1 Day Regular Ward and (4) 1 Day ICU. Reusable cuffs have a lesser impact. See results in table study (Sanchez, 2020) (see evidence table for more detailed information)	N/A N/A	Reusable cuffs have a lesser impact in this category.

Comparison 3.7 Disposable versus reusable laryngoscope handles and blades					
Sherman (2018)	Single-use laryngoscope handles and blades	One handle or one blade for a single patient encounter.	Different cleaning scenarios (low-level disinfection levels (LDL), high-level disinfection levels (HDL) and sterilization) are included in the analysis. The most favourable scenario for the handles and blades is the reusable stainless steel, treated to HDL standards. (see figure 2 (Sherman; 2018) and evidence table for more detailed information)	N/A	<u>Compared to reusable stainless steel handle, treated to HDL.</u> *Choosing LDL: 70% increase *Choosing sterilization: 200% increase. *The single-use handle has a 33 times impact in the outcome acidification compared to the reusable version. <u>Compared to reusable steel tongue blade treated to (the minimum) HDL standards.</u> *Choose sterilization: 250% increase *Single-use options for the blades will result in 5-10 times increase.
	Reusable laryngoscope handles and blades			N/A	

*Read from figure (Ibbotson, 2013)

4. Eutrophication

Seven out of twenty studies reported on the outcome eutrophication (Hicks, 2016; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; McGain, 2017; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Sherman, 2018). The seven studies contained seven comparisons. A summary of the results is presented in Table 4. The majority of the studies resulted in favour of reusables.

Table 4. Outcome measure eutrophication: summary of results

Study	Comparison	Functional unit	Outcomes eutrophication	Difference
4.1 Disposable versus reusable patient hospital gowns				
Hicks (2016)	Disposable patient gownscoated with nAg (nanosilver)	-4600 ug of nAg (amount added to hospital gown) -Per one wear and laundering (over a lifetime of 75 wearings)	*Synthesis nAg: 5.83 x 10 ⁻⁵ kg N equivalents. nAg attachment 2.63 x 10 ⁻⁴ kg N equivalents *Reapplication nAg for every gown (75 times)	94.1% in favour of reusables.
	Reusable patient gowns coated with nAg (nanosilver)		Reapplication nAg at each set of 17 launderings (± 4.4 times)	
4.2 Disposable versus reusable laryngeal airway masks (LMAs)				
Eckelman (2012)	Single-use laryngeal mask airways (LMAs)	Maintenance of 40 airways	100%	0-10% in favour of reusables.
	Reusable laryngeal mask airways (LMAs)		90-100%	
4.3 Disposable versus reusable surgical scissors				
Ibbotson (2013)	Disposable scissors made of plastic (fibre reinforced)	4,500 use cycles of surgical scissors during 18 years	Freshwater: 0.55 kg P equivalents* Marine: 6 kg N equivalents*	<u>Freshwater</u> : Difference of 0.7 kg P eq and 0.25 kg P eq in favour of reusables. <u>Marine</u> : Difference of 9.8 kg N eq and 5.8 kg N eq in favour of reusables.
	Disposable scissors made of stainless steel		Freshwater: 1 kg P equivalents* Marine: 10 kg N equivalents*	
	Reusable scissors made of stainless steel		Freshwater: 0.3 kg P equivalents* Marine: 0.2 kg N equivalents*	
4.4 Five scenarios of anaesthetic equipment (including anesthetic circuits, face masks, LMAs,				
McGain (2017)	Single-use anesthetic equipment	Use of breathing circuits, face masks, LMAs, and direct and videolaryngoscopes at one hospital over one year	(1) completely reusable – 0.000 kg P eq	The differences are very small. The outcomes resulted all in a low impact on eutrophication.
	Reusable anesthetic equipment		(2) mainly single-use except for reusable laryngoscope handles – 0.12 kg P eq	
			(3) completely single-use – 0.12 kg P eq	
			(4) reusables (except the single-use face masks) – 0.04 kg P eq	
			(5) reusables (except single-use laryngoscope blades) – 0.07 kg P eq	
4.5 Hybrid and single-use instrument in laparoscopic cholecystectomy				
Rizan (2021)	Hybrid instruments in laparoscopic cholecystectomy	The number of three types of instruments (clip appliers, laparoscopic scissors and ports) typically required to perform one laparoscopic cholecystectomy	<u>Freshwater</u> : Ports: 0.17 g P eq Laparoscopic clip applier: 0.12 g P eq Laparoscopic scissors: 0.17 g P eq <u>Marine</u> : Ports: 0.07 g N eq Laparoscopic clip applier: 0.06 g N eq Laparoscopic scissors: 0.04 g N eq	The differences are very small. Overall, the hybrid instruments have a lower environmental impact in this category.
	Single-use instruments in laparoscopic cholecystectomy		<u>Freshwater</u> : Ports: 0.43 g P eq Laparoscopic clip applier: 0.62 g P eq Laparoscopic scissors: 0.26 g P eq <u>Marine</u> : Ports: 0.12 g N eq Laparoscopic clip applier: 0.09 g N eq Laparoscopic scissors: 0.05 g N eq	
4.6 Disposable versus reusable blood pressure cuffs				
Sanchez (2020)	Disposable blood pressure (BP) cuffs	Providing blood pressure readings for a clinic room or ward, under four different health care delivery scenarios.	Using 4 different scenarios: (1) Day office, (2) 1 Day Ambulatory Procedure, (3) 1 Day Regular Ward and (4) 1 Day ICU. Reusable cuffs have a lesser impact. See results in table study (Sanchez, 2020) (see evidence table for more detailed information)	Reusable cuffs have a lower impact in this category.
4.7 Disposable versus reusable laryngoscope handles and blades				
Sherman (2018)	Single-use laryngoscope handles and blades	One handle or one blade for a single patient encounter.	Different cleaning scenarios (low-level disinfection levels (LDL), high-level disinfection levels (HDL) and sterilization) are included in the analysis. The most favourable scenario for the handles and blades is the reusable stainless steel, treated to HDL standards. Choosing LDL will result in a 160% increase of eutrophication impact. Sterilization will lead to a 100% increase. The single-use handle has a 65 times bigger impact on eutrophication compared to the reusable version. Sterilization will lead to a 150% increase compared to HDL. Single-use options for the blades will result in 8-15 times increase of impact on eutrophication.	The reusable handles and blades have a lower impact in this category.
	Reusable laryngoscope handles and blades			

*Read from figure (Ibbotson, 2013)

5. Human toxicity

Seven out of twenty studies reported on the outcome human toxicity (Hicks, 2016; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; McGain, 2017; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Sherman, 2018). A summary of the results is presented in Table 5. Most studies resulted in favour of reusables.

Table 5. Outcome measure human toxicity: summary of results

Study	Comparison	Functional unit	Outcomes human toxicity	Difference
Comparison 5.1 Disposable versus reusable patient hospital gowns				
Hicks (2016)	Disposable patient gowns coated with nAg (nanosilver)	-4600 ug of nAg (amount added to hospital gown) -Per one wear and laundering (over a lifetime of 75 wearings)	*Carcinogenics: Synthesis nAg: 4.66×10^{-10} CTUh. nAg attachment: 4.28×10^{-9} CTUh *Non-carcinogenics: Synthesis nAg: 6.37×10^{-9} CTUh. nAg attachment: 4.28×10^{-8} CTUh *Reapplication nAg for every gown (75 times)	Very small differences.
	Reusable patient gowns coated with nAg (nanosilver)		Reapplication nAg at each set of 17 laundering (± 4.4 times)	
Comparison 5.2 Disposable versus reusable laryngeal airway masks (LMAs)				
Eckelman (2012)	Single-use laryngeal mask airways (LMAs)	Maintenance of 40 airways	HH cancer: 100% HH non cancer: 100% HH air pollutants: 100%	70-100% in favour of reusables.
	Reusable laryngeal mask airways (LMAs)		HH cancer: 0-10% HH non cancer: 0-10% HH air pollutants: 20-30%	
Comparison 5.3 Disposable versus reusable surgical scissors				
Ibbotson (2013)	Disposable scissors made of plastic (fibre reinforced)	4,500 use cycles of surgical scissors during 18 years	750 kg 1.4-DB equivalents *	Differences 550 and 7550 kg 1.4-DB equivalents in favour of reusable.
	Disposable scissors made of stainless steel		7750 kg 1.4-DB equivalents *	
	Reusable scissors made of stainless steel		200 kg 1.4-DB equivalents *	
Comparison 5.4 Five scenarios of anaesthetic equipment (including anaesthetic circuits, face masks, LMAs, direct and videolaryngoscope blades and handles)				
McGain (2017)	Single-use anaesthetic equipment	Use of breathing circuits, face masks, LMAs, and direct and videolaryngoscopes at one hospital over one year	(1) completely reusable – 12 kg 1.4-DB eq	Difference 1011 kg 1.4-DB equivalents in favour of reusables.
	Reusable anaesthetic equipment		(2) mainly single-use except for reusable laryngoscope handles – 713 kg 1.4-DB eq	
			(3) completely single-use – 1023 kg 1.4-DB eq	
			(4) reusables (except the single-use face masks) – 195 kg 1.4-DB eq	
			(5) reusables (except single-use laryngoscope blades) – 491 kg 1.4-DB eq	
Comparison 5.5 Hybrid and single-use instrument in laparoscopic cholecystectomy				
Rizan (2021)	Hybrid instruments in laparoscopic cholecystectomy	The number of three types of instruments (clip appliers, laparoscopic scissors and ports) typically required to perform one laparoscopic cholecystectomy	<u>Carcinogenic:</u> Ports: 43 g 1.4-DCB eq Laparoscopic clip applier: 45 g 1.4-DCB eq Laparoscopic scissors: 65 g 1.4-DCB eq <u>Noncarcinogenic:</u> Ports: 390 g 1.4-DCB eq Laparoscopic clip applier: 576 g 1.4-DCB eq Laparoscopic scissors: 952 g 1.4-DCB eq	<u>Carcinogenic:</u> *Ports 63.2% in favour of hybrid instruments. *Laparoscopic clip applier 77.8% in favour of hybrid instruments. *Laparoscopic scissors 28.6% in favour of hybrid instruments.
	Single-use instruments in laparoscopic cholecystectomy		<u>Carcinogenic:</u> Ports: 117 g 1.4-DCB eq Laparoscopic clip applier: 203 g 1.4-DCB eq Laparoscopic scissors: 91 g 1.4-DCB eq <u>Noncarcinogenic:</u> Ports: 1013 g 1.4-DCB eq Laparoscopic clip applier: 2871 g 1.4-DCB eq Laparoscopic scissors: 1386 g 1.4-DCB eq	<u>Noncarcinogenic:</u> *Ports 96.1% in favour of hybrid instruments. *Laparoscopic clip applier 99.3% in favour of hybrid instruments. *Laparoscopic scissors 93.4% in favour of hybrid instruments.
Comparison 5.6 Disposable versus reusable blood pressure cuffs				
Sanchez (2020)	Disposable blood pressure (BP) cuffs	Providing blood pressure readings for a clinic room or ward, under four different health care delivery scenarios.	Using 4 different scenarios: (1) Day office, (2) 1 Day Ambulatory Procedure, (3) 1 Day Regular Ward and (4) 1 Day ICU. Reusable cuffs have a lesser impact. See results in table study (Sanchez, 2020) (see evidence table for more detailed information)	Reusable cuffs have a lesser impact in this category.
Comparison 5.7 Disposable versus reusable laryngoscope handles and blades				
Sherman (2018)	Single-use laryngoscope handles and blades	One handle or one blade for a single patient encounter.	Different cleaning scenarios (low-level disinfection levels (LDL), high-level disinfection levels (HDL) and sterilization) are included in the analysis. The most favourable scenario for the handles and blades is the reusable stainless steel, treated to HDL standards. (see figure 2 (Sherman; 2018) and evidence table for more detailed information)	The single-use handles and blades have a greater impact in this category.
	Reusable laryngoscope handles and blades			

*Assessed from Figure (Ibbotson, 2013)

6. *Ecotoxicity*

Seven out of twenty studies reported on the outcome ecotoxicity (Hicks, 2016; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; McGain, 2017; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Sherman, 2018). A summary of the results is presented in Table 5. Most studies resulted in favour of reusables.

Table 6. Outcome measure ecotoxicity: summary of results

Study	Comparison	Functional unit	Outcomes ecotoxicity	Difference
Comparison 6.1 Disposable versus reusable patient hospital gowns				
Hicks (2016)	Disposable patient gownscoated with nAg (nanosilver)	-4600 ug of nAg (amount added to hospital gown) -Per one wear and laundering (over a lifetime of 75 wearings)	Synthesis nAg: 2.36 x 10 ⁻² CTUe nAg attachment: 1.51 x 10 ⁻¹ CTUe	Very small differences
	Reusable patient gowns coated with nAg (nanosilver)		Reapplication nAg for every gown (75 times) Reapplication nAg at each set of 17 laundering (± 4.4 times)	
Comparison 6.2 Disposable versus reusable laryngeal airway masks (LMAs)				
Eckelman (2012)	Single-use laryngeal mask airways (LMAs)	Maintenance of 40 airways	100%	80-90% in favour of reusables.
	Reusable laryngeal mask airways (LMAs)		10-20%	
Comparison 6.3 Disposable versus reusable surgical scissors				
Ibbotson (2013)	Disposable scissors made of plastic (fibre reinforced)	4,500 use cycles of surgical scissors during 18 years	Terrestrial ecotoxicity: 0.4 kg 1.4-DB eq * Freshwater ecotoxicity: 55 kg 1.4-DB eq *	Terrestrial: Small differences 0.37 and 1.97 kg 1.4-DB eq in favour of reusable
	Disposable scissors made of stainless steel		Terrestrial ecotoxicity: 2 kg 1.4-DB eq * Freshwater ecotoxicity: 500 kg 1.4-DB eq *	
	Reusable scissors made of stainless steel		Terrestrial ecotoxicity: 0.03 kg 1.4-DB eq * Freshwater ecotoxicity: 4 kg 1.4-DB eq *	Freshwater: Differences 51 and 496 kg 1.4-DB eq in favour of reusable
Comparison 6.4 Five scenarios of anaesthetic equipment (including anaesthetic circuits, face masks, LMAs, direct and video laryngoscope blades, handles)				
McGain (2017)	Single-use anesthetic equipment	Use of breathing circuits, face masks, LMAs, and direct and video laryngoscopes at one hospital over one year	(1) completely reusable – Terrestrial ecotoxicity 0.011 kg 1.4-DB eq Freshwater ecotoxicity 0.7 kg 1.4-DB eq Marine ecotoxicity 0.7 kg 1.4-DB eq	Differences in favour of reusables.
	Reusable anesthetic equipment		(2) mainly single-use except for reusable laryngoscope handles – Terrestrial ecotoxicity 0.4 kg 1.4-DB eq Freshwater ecotoxicity 91 kg 1.4-DB eq Marine ecotoxicity 94.5 kg 1.4-DB eq	
			(3) completely single-use – Terrestrial ecotoxicity 0.405 kg 1.4-DB eq Freshwater ecotoxicity 93.4 kg 1.4-DB eq Marine ecotoxicity 97.2 kg 1.4-DB eq	
			(4) reusables (except the single-use face masks) – Terrestrial ecotoxicity 0.118 kg 1.4-DB eq Freshwater ecotoxicity 3.1 kg 1.4-DB eq Marine ecotoxicity 2.8 kg 1.4-DB eq	
			(5) reusables (except single-use laryngoscope blades) – Terrestrial ecotoxicity 0.2 kg 1.4-DB eq Freshwater ecotoxicity 88 kg 1.4-DB eq Marine ecotoxicity 92.3 kg 1.4-DB eq	
Comparison 6.5 Hybrid and single-use instrument in laparoscopic cholecystectomy				
Rizan (2021)	Hybrid instruments in laparoscopic cholecystectomy	The number of three types of instruments (clip appliers, laparoscopic scissors and ports) typically required to perform one laparoscopic cholecystectomy	Terrestrial ecotoxicity: Ports: 1171 g 1.4-DCB eq Laparoscopic clip: 3976 g 1.4-DCB eq Laparoscopic scissors: 5628 g 1.4-DCB eq Freshwater ecotoxicity: Ports: 17 g 1.4-DCB eq Laparoscopic clip: 36 g 1.4-DCB eq Laparoscopic scissors: 97 g 1.4-DCB eq Marine ecotoxicity: Ports: 23 g 1.4-DCB eq Laparoscopic clip: 47 g 1.4-DCB eq Laparoscopic scissors: 122 g 1.4-DCB eq	Terrestrial/ *Ports 71.7% in favour of hybrid instruments. *Laparoscopic clip 79.9% in favour of hybrid instruments. *Laparoscopic scissors 63% in favour of hybrid instruments. Freshwater: *Ports 56.4% in favour of hybrid instruments. *Laparoscopic clip 79.5% in favour of hybrid instruments. *Laparoscopic scissors 6.2% in favour of single-use instruments. Marine *Ports 57.4% in favour of hybrid instruments. *Laparoscopic clip 79.6% in favour of hybrid instruments. *Laparoscopic scissors 3.3% in favour of single-use instruments.
	Single-use instruments in laparoscopic cholecystectomy		Terrestrial ecotoxicity: Ports: 4142 g 1.4-DCB eq Laparoscopic clip applier: 19,767 g 1.4-DCB eq Laparoscopic scissors: 8939 g 1.4-DCB eq Freshwater ecotoxicity: Ports: 39 g 1.4-DCB eq Laparoscopic clip applier: 176 g 1.4-DCB eq Laparoscopic scissors: 91 g 1.4-DCB eq Marine ecotoxicity: Ports: 54 g 1.4-DCB eq Laparoscopic clip applier: 230 g 1.4-DCB eq Laparoscopic scissors: 118 g 1.4-DCB eq	

<i>Comparison 6.6 Disposable versus reusable blood pressure cuffs</i>				
Sanchez (2020)	Disposable blood pressure (BP) cuffs	Providing blood pressure readings for a clinic room or ward, under four different health care delivery scenarios.	Using 4 different scenarios: (1) Day office, (2) 1 Day Ambulatory Procedure, (3) 1 Day Regular Ward and (4) 1 Day ICU. Reusable cuffs have a lesser impact. See results in table study (Sanchez, 2020) (see evidence table for more detailed information)	Reusable cuffs have a lesser impact in this category.
<i>Comparison 6.7 Disposable versus reusable laryngoscope handles and blades</i>				
Sherman (2018)	Single-use laryngoscope handles and blades	One handle or one blade for a single patient encounter.	Different cleaning scenarios (LDL, HDL, sterilization) are included in the analysis. The most favourable scenario for the handles and blades is the reusable stainless steel, treated to HDL standards. (see figure 2 (Sherman; 2018) and evidence table for more detailed information)	The single-use handles and blades have a bigger impact in this category.

7. Ozone depletion

Seven out of twenty studies reported on the outcome ozone depletion (Hicks, 2016; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; McGain, 2017; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Sherman, 2018). A summary of the results is presented in Table 7. Most studies resulted in favour of reusables.

Table 7. Outcome measure ozone depletion: summary of results

Study	Comparison	Functional unit	Outcomes ozone depletion	Difference
Comparison 7.1 Disposable versus reusable patient hospital gowns				
Hicks (2016)	Disposable patient gownscoated with nAg (nanosilver)	-4600 ug of nAg (amount added to hospital gown) -Per one wear and laundering (over a lifetime of 75 wearings)	Carcinogenics: Synthesis nAg: 1.29 x 10 ⁻¹⁰ kg CFC-11 eq nAg attachment: 5.70 x 10 ⁻⁹ kg CFC-11 eq Reapplication nAg for every gown (75 times)	Very small differences
	Reusable patient gowns coated with nAg (nanosilver)		Reapplication nAg at each set of 17 launderings (± 4.4 times)	
Comparison 7.2 Disposable versus reusable laryngeal airway masks (LMAs)				
Eckelman (2012)	Single-use laryngeal mask airways (LMAs)	Maintenance of 40 airways	100%	70-80% in favour of reusables.
	Reusable laryngeal mask airways (LMAs)		20-30%	
Comparison 7.3 Disposable versus reusable surgical scissors				
Ibbotson (2013)	Disposable scissors made of plastic (fibre reinforced)	4,500 use cycles of surgical scissors during 18 years	Ozone depletion: 0.0001 kg CFC-11 eq*	Very small differences
	Disposable scissors made of stainless steel		Ozone depletion: 0.00055 kg CFC-11 eq*	
	Reusable scissors made of stainless steel		Ozone depletion: 0.00004 kg CFC-11 eq	
Comparison 7.4 Hybrid and single-use instrument in laparoscopic cholecystectomy				
Rizan (2021)	Hybrid instruments in laparoscopic cholecystectomy	The number of three types of instruments (clip appliers, laparoscopic scissors and ports) typically required to perform one laparoscopic cholecystectomy	Ports: 0.0004 g CFC11 eq Laparoscopic clip: g 1.4-DCB eq Laparoscopic scissors: 0.0001 g CFC11 eq	Very small impact and differences.
	Single-use instruments in laparoscopic cholecystectomy		Ports: 0.0013 g CFC11 eq Laparoscopic clip: 0.0002 g CFC11 eq Laparoscopic scissors: 0.0005 g CFC11 eq	
Comparison 7.5 Disposable versus reusable blood pressure cuffs				
Sanchez (2020)	Disposable blood pressure (BP) cuffs	Providing blood pressure readings for a clinic room or ward, under four different health care delivery scenarios.	Using 4 different scenarios: (1) Day office, (2) 1 Day Ambulatory Procedure, (3) 1 Day Regular Ward and (4) 1 Day ICU. Reusable cuffs have a lesser impact. See results in table study (Sanchez, 2020) (see evidence table for more detailed information)	Reusable cuffs have a lesser impact in this category.
Comparison 7.6 Disposable versus reusable laryngoscope handles and blades				
Sherman (2018)	Single-use laryngoscope handles and blades	One handle or one blade for a single patient encounter.	Different cleaning scenarios (low-level disinfection levels (LDL), high-level disinfection levels (HDL) and sterilization) are included in the analysis. The most favourable scenario for the handles and blades is the reusable stainless steel, treated to HDL standards. <i>(see figure 2 (Sherman; 2018) and evidence table for more detailed information)</i>	The single-use handles and blades have a bigger impact in this category.

Level of evidence of the literature

The working group assessed the level of evidence of LCAs using GRADE and used the critical appraisal of LCAs (Drew, 2021) to provide an indication of the study quality. See module 'operatietechnieken' for more details. As mentioned before, given that all comparisons involve the assessment of reusable versus disposable medical devices, the level of evidence of literature from sub question 2.1 and sub question 2.2 are presented in one overview.

1. Climate Change

Eighteen studies reported on the outcome 'climate change' (Grimmond, 2012; Grimmond, 2021; McPherson, 2019; Hicks, 2016; McGain, 2010; Vozzola, 2018; Vozzola, 2018; Vozzola, 2020; Davis, 2019; Donahue, 2020; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; Leiden, 2020; McGain, 2012; McGain, 2017; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Sherman, 2018). The 18 studies contained 16 comparisons. The level of evidence starts at grade high. The level of evidence was downgraded with 2 levels to *low* because of risk of bias (-1; limitations on functional unit, limited transparency on characterization, sensitivity/uncertainty analyses were lacking, limitations inadequately critically appraised) and indirectness (-1; heterogeneity of interventions, limited representativeness of data).

2. Waste

Eight studies reported on the outcome 'waste' (Grimmond, 2012; Grimmond, 2021; McPherson, 2019; Vozzola, 2018; Vozzola, 2020; Davis, 2018; McGain, 2017; Namburur, 2022). As seven out of eight studies contain LCAs, the level of evidence starts at grade high. The level of evidence was downgraded with 2 levels to *low* because of risk of bias (-1; unclear rational, limitations on functional unit, unclear system boundaries or stages, limited transparency on characterization, sensitivity/uncertainty analyses were lacking, limitations inadequately critically appraised) and indirectness (-1; heterogeneity of interventions, limited representativeness of data).

3. Acidification

Seven studies reported on the outcome acidification (Hicks, 2016; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; Leiden, 2020; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Sherman, 2018). The level of evidence starts at grade high. The level of evidence was downgraded with 2 levels to *low* because of risk of bias (-1; unclear system boundaries or stages, sensitivity/uncertainty analyses were lacking, limitations inadequately critically appraised) and indirectness (-1; heterogeneity of interventions, limited representativeness of data).

4. Eutrophication

Seven studies reported on the outcome 'eutrophication' (Hicks, 2016; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; Leiden, 2020; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Sherman, 2018). The level of evidence starts at grade high. The level of evidence was downgraded with 2 levels to *low* because of risk of bias (-1; unclear system boundaries or stages, sensitivity/uncertainty analyses were lacking, limitations inadequately critically appraised) and indirectness (-1; heterogeneity of interventions, limited representativeness of data).

5. Human toxicity

Seven studies reported on 'human toxicity' (Hicks, 2016; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; Leiden, 2020; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Sherman, 2018). The level of evidence starts at grade high. The level of evidence was downgraded with 2 levels to *low* because of risk of bias (-1; unclear system boundaries or stages, sensitivity/uncertainty analyses were lacking, limitations inadequately critically appraised) and indirectness (-1; heterogeneity of interventions, limited representativeness of data).

6. Ecotoxicity

Seven studies reported on the outcome ecotoxicity (Hicks, 2016; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; Leiden, 2020; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Sherman, 2018). The level of evidence starts at grade high. The level of evidence was downgraded with 2 levels to *low* because of risk of bias (-1; unclear system boundaries or

stages, sensitivity/uncertainty analyses were lacking, limitations inadequately critically appraised) and indirectness (-1; heterogeneity of interventions, limited representativeness of data).

7. Ozone depletion

Seven studies reported on the outcome ozone depletion (Hicks, 2016; Eckelman, 2012; Ibbotson, 2013; Leiden, 2020; Rizan, 2021; Sanchez, 2020; Sherman, 2018). The level of evidence starts at grade high. The level of evidence was downgraded with 2 levels to *low* because of risk of bias (-1; unclear system boundaries or stages, sensitivity/uncertainty analyses were lacking, limitations inadequately critically appraised) and indirectness (-1; heterogeneity of interventions, limited representativeness of data).

Zoeken en selecteren

A systematic review of the literature was performed to answer the following questions:

PICO1: *What is the difference in sustainability of reusables compared to disposables in the operating room for patients who undergo surgery?*

P = Patients who undergo a surgical procedure

I = Reusables, such as: surgical gowns, scrub caps, gloves, glasses, perioperative textiles (i.e. blue drapes, band aids), packing materials, or laryngeal masks

C = Disposables, such as: surgical gowns, scrub caps, gloves, glasses, perioperative textiles (blue drapes, band aids), packing materials or laryngeal masks

O = Climate change (CO₂ footprint/Global Warming Potential (GWP)), waste, acidification, eutrophication, human toxicity, ecotoxicity, ozone depletion

PICO2: *What is the difference in sustainability of specific reusable medical instruments compared to disposable medical instruments in the operating room for patients who undergo surgery?*

P = Patients who undergo a surgical procedure

I = Reusable medical instruments, such as: specula, instruments, scopes

(e.g reusable instruments in a surgical tool kit: scissor, Kocher, tweezer, scalpel, needle driver, ligasure, harmonic, stapler, surgical drill; reusable scopes: duodenoscope, ureterorenoscope, bronchoscope, cystoscope, laryngeal scope; reusable meniscal sutures; reusable suture anchors).

C = Disposable medical instruments, such as: specula, instruments, scopes

(e.g disposable instruments in a surgical tool kit: scissor, Kocher, tweezer, scalpel, needle driver, vessel sealer, stapler, surgical drill; disposable scopes: duodenoscope, ureterorenoscope, bronchoscope, cystoscope, laryngeal scope; disposable meniscal sutures; disposable suture anchors).

O = Climate change (CO₂ footprint/Global Warming Potential (GWP)), waste, acidification, eutrophication, human toxicity, ecotoxicity, ozone depletion

Relevant outcome measures

Life cycle assessment (LCA) is a methodological tool used to quantitatively analyse the life cycle of products/activities within the context of environmental impact. The assessment comprises all stages needed to produce and use a product, from the initial development to the treatment of waste (the total life cycle). An LCA is mainly based on four phases: 1) goal and scope definition, 2) inventory analysis, 3) impact assessment, and 4) interpretation. The third phase is the life cycle impact assessment (LCIA), in which emissions and

resource extractions are translated into a limited number of environmental impact scores by means of so-called characterisation factors. The ReCiPe model is a method for the impact assessment in an LCA (Huijbregts, 2016, Huijbregts, 2017). To determine the outcome measures regarding environmental impact, the ReCiPe model of the National Institute for Public Health and the Environment (in Dutch: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM) was used.

The outcomes determined by the working group are based on the ReCiPe framework. The working group considered climate change (CO₂ footprint/Global Warming Potential) and waste as a *critical* outcome measure for decision making; and acidification, eutrophication, human toxicity, ecotoxicity and ozone depletion as an *important* outcome measure for decision making.

A priori, the working group did not define the outcome measures listed above but used the definitions used in the studies.

Outcomes focused on environmental life cycle assessment (LCA) impact categories are relatively new in healthcare. Given the variety in scopes and methods of performing and reporting LCAs, the working group did not define a priori the minimal important difference. Differences between the disposables and reusables were evaluated by the working group after data extraction.

A glossary including the outcome measures is found in module 'operatietechnieken'.

Search and select (Methods)

The databases Pubmed (via NCBI), Embase (via OVID), Web of Science (via Webofscience), Cochrane (via Cochrane library) and Emcare (via OVID) were searched with relevant search terms from 2000 until 7 December 2021. The detailed search strategy is depicted under the tab Methods. The systematic literature search resulted in 694 hits in total. Studies for this module were selected based on the following criteria:

- Systematic reviews (searched in at least two databases, with a detailed search strategy, risk of bias assessment and results of individual studies available), randomized controlled trials, (observational) comparative studies, life cycle assessments, CO₂ footprint studies and environmental impact studies;
- Full-text English language publication; and
- Studies according to the PICO. Studies that compared disposables with reusables related to the OR and included at least one of the following outcomes: climate change, waste, acidification, eutrophication, human toxicity, ecotoxicity, ozone depletion.

After reading the full text, 20 studies were included in the literature summary of this module.

Results

Twenty studies were included in the analysis of the literature (sub question 2.1: 9, sub question 2.2: 11). Important study characteristics and results are summarized in the evidence tables (Appendix 1). The quality assessment of the studies is summarized in Appendix 2.

Verantwoording

Laatst beoordeeld : 08-01-2024

Voor de volledige verantwoording, evidence tabellen en eventuele aanverwante producten raadpleegt u de Richtlijnen database.

Referenties

- Acero, 2015. Greendelta, LCIA methods: Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories. Version: 1.5.4. Date: 16 March 2015. Accessed at: <https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2015/11/LCIA-METHODS-v.1.5.4.pdf>
- Aiolfi A, Lombardo F, Matsushima K, Sozzi A, Cavalli M, Panizzo V, Bonitta G, Bona D. Systematic review and updated network meta-analysis of randomized controlled trials comparing open, laparoscopic-assisted, and robotic distal gastrectomy for early and locally advanced gastric cancer. *Surgery*. 2021 Sep;170(3):942-951. doi: 10.1016/j.surg.2021.04.014. Epub 2021 May 20. PMID: 34023140.
- Berners-Lee M. How Bad are Bananas; the Carbon Footprint of Everything. London: Profile Books; 2010.
- CE Delft, 2022a. Klimaatimpact herbruikbare en eenmalige specula - Screening LCA voor het UMC Utrecht. Delft, CE Delft, oktober 2022. Publicatienummer: 22.210358.128. Link: https://ce.nl/wp-content/uploads/2022/11/CE_Delft_210358_Klimaatimpact_herbruikbare_en_eenmalige_specula_DEF.pdf
- CE Delft, 2022b. Eenmalige of herbruikbare partusen hechtsets? Milieukundige vergelijking voor het UMC Utrecht Update 2022. Delft, CE Delft, november 2022. Publicatienummer: 22.220162.176. Link: https://ce.nl/wp-content/uploads/2022/11/CE_Delft_220162_Eenmalige_of_herbruikbare_partus-en_hechtsets_Def.pdf
- Davis NF, McGrath S, Quinlan M, Jack G, Lawrentschuk N, Bolton DM. Carbon Footprint in Flexible Ureteroscopy: A Comparative Study on the Environmental Impact of Reusable and Single-Use Ureteroscopes. *J Endourol*. 2018 Mar;32(3):214-217. doi: 10.1089/end.2018.0001. Epub 2018 Feb 21. PMID: 29373918.
- Donahue LM, Hilton S, Bell SG, Williams BC, Keoleian GA. A comparative carbon footprint analysis of disposable and reusable vaginal specula. *Am J Obstet Gynecol*. 2020 Aug;223(2):225.e1-225.e7. doi: 10.1016/j.ajog.2020.02.007. Epub 2020 Feb 15. PMID: 32067971.
- Drew J, Christie SD, Tyedmers P, Smith-Forrester J, Rainham D. Operating in a Climate Crisis: A State-of-the-Science Review of Life Cycle Assessment within Surgical and Anesthetic Care. *Environ Health Perspect*. 2021 Jul;129(7):76001.
- Eckelman M, Mosher M, Gonzalez A, Sherman J. Comparative life cycle assessment of disposable and reusable laryngeal mask airways. *Anesth Analg*. 2012 May;114(5):1067-72. doi: 10.1213/ANE.0b013e31824f6959. Epub 2012 Apr 4. PMID: 22492190.
- EPA 2021 <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- Grimmond T, Reiner S. Impact on carbon footprint: a life cycle assessment of disposable versus reusable sharps containers in a large US hospital. *Waste Manag Res*. 2012 Jun;30(6):639-42. doi: 10.1177/0734242X12450602. Epub 2012 May 23. PMID: 22627643.
- Grimmond TR, Bright A, Cadman J, Dixon J, Ludditt S, Robinson C, Topping C. Before/after intervention study to determine impact on life-cycle carbon footprint of converting from single-use to reusable sharps containers in 40 UK NHS trusts. *BMJ Open*. 2021 Sep 27;11(9):e046200. doi: 10.1136/bmjopen-2020-046200. PMID: 34580089; PMCID: PMC8477330.
- Hicks, A. L., et al. "Environmental impacts of reusable nanoscale silver-coated hospital gowns compared to single-use, disposable gowns." *Environmental Science: Nano* 3.5 (2016): 1124-1132.
- Huijbregts, M. A., Steinmann, Z. J., Elshout, P. M., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., ... & van Zelm, R. (2017). ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(2), 138-147.
- Huijbregts MAJ, Steinmann ZJN, Elshout PMF, Stam G, Verones F, Vieira MDM Management Duurzame Melkveehouderij, Hollander A, Van Zelm R, 2016. ReCiPe2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. RIVM Rapport 2016-0104. Bilthoven, The Netherlands.
- Ibbotson, S., Dettmer, T., Kara, S. et al. Eco-efficiency of disposable and reusable surgical instruments a scissors case. *Int J Life Cycle Assess* 18, 11371148 (2013). <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0547-7>
- Muaddi H, Hafid ME, Choi WJ, Lillie E, de Mestral C, Nathens A, Stukel TA, Karanicolas PJ. Clinical Outcomes of Robotic Surgery Compared to Conventional Surgical Approaches (Laparoscopic or Open): A Systematic Overview of Reviews. *Ann Surg*. 2021 Mar 1;273(3):467-473. doi:

10.1097/SLA.0000000000003915. PMID: 32398482.

Leiden, Alexander, et al. "Life cycle assessment of a disposable and a reusable surgery instrument set for spinal fusion surgeries." *Resources, Conservation and Recycling* 156 (2020): 104704.

McGain F, McAlister S, McGavin A, Story D. The financial and environmental costs of reusable and single-use plastic anaesthetic drug trays. *Anaesth Intensive Care*. 2010 May;38(3):538-44. doi: 10.1177/0310057X1003800320. PMID: 20514965.

McGain F, Muret J, Lawson C, Sherman JD. Environmental sustainability in anaesthesia and critical care. *Br J Anaesth*. 2020 Nov;125(5):680-692. doi: 10.1016/j.bja.2020.06.055. Epub 2020 Aug 12. PMID: 32798068; PMCID: PMC7421303.

McGain F, McAlister S, McGavin A, Story D. A life cycle assessment of reusable and single-use central venous catheter insertion kits. *Anesth Analg*. 2012 May;114(5):1073-80. doi: 10.1213/ANE.0b013e31824e9b69. Epub 2012 Apr 4. PMID: 22492185.

McGain F, Story D, Lim T, McAlister S. Financial and environmental costs of reusable and single-use anaesthetic equipment. *Br J Anaesth*. 2017 Jun 1;118(6):862-869. doi: 10.1093/bja/aex098. PMID: 28505289.

McPherson B, Sharip M, Grimmond T. The impact on life cycle carbon footprint of converting from disposable to reusable sharps containers in a large US hospital geographically distant from manufacturing and processing facilities. *PeerJ*. 2019 Feb 22;7:e6204. doi: 10.7717/peerj.6204. PMID: 30809428; PMCID: PMC6388662.

Namburar S, von Renteln D, Damianos J, Bradish L, Barrett J, Aguilera-Fish A, Cushman-Roisin B, Pohl H. Estimating the environmental impact of disposable endoscopic equipment and endoscopes. *Gut*. 2022 Jul;71(7):1326-1331.

Rizan C, Bhutta MF. Environmental impact and life cycle financial cost of hybrid (reusable/single-use) instruments versus single-use equivalents in laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc*. 2022 Jun;36(6):4067-4078. doi: 10.1007/s00464-021-08728-z. Epub 2021 Sep 24. PMID: 34559257; PMCID: PMC9085686.

Sanchez A., Eckelman M.J., Sherman J.D. Environmental and economic comparison of reusable and disposable blood pressure cuffs in multiple clinical settings. *Resources, Conservation and Recycling* Vol. 155, Pages 104643 (2020).

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104643>

Siu J, Hill AG, MacCormick AD. Systematic review of reusable versus disposable laparoscopic instruments: costs and safety. *ANZ J Surg*. 2017 Jan;87(1-2):28-33. doi: 10.1111/ans.13856. Epub 2016 Nov 23. PMID: 27878921.

Sherman JD, Raibley LA 4th, Eckelman MJ. Life Cycle Assessment and Costing Methods for Device Procurement: Comparing Reusable and Single-Use Disposable Laryngoscopes. *Anesth Analg*. 2018 Aug;127(2):434-443. doi: 10.1213/ANE.0000000000002683. PMID: 29324492.

The Carbon Trust (2018) Carbon Footprinting. <https://www.carbontrust.com/resources/carbon-footprinting-guide>

Vozzola E, Overcash M, Griffing E. Life Cycle Assessment of Reusable and Disposable Cleanroom Coveralls. *PDA J Pharm Sci Technol*. 2018 May-Jun;72(3):236-248. doi: 10.5731/pdajpst.2017.007864. Epub 2018 Feb 14. PMID: 29444994.

Vozzola E, Overcash M, Griffing E. Environmental considerations in the selection of isolation gowns: A life cycle assessment of reusable and disposable alternatives. *Am J Infect Control*. 2018 Aug;46(8):881-886.

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. PMID: 32128776.

Afdekmaterialen

Uitgangsvraag

Hoe kunnen materialen die in contact komen met de patiënt op de operatietafel op de meest duurzame manier worden gebruikt?

Zie een schematisch overzicht van de module in '[Samenvatting](#)'.

Aanbeveling

Evalueer of het gebruik van materialen die in contact komen met de patiënt (bijvoorbeeld warmtedekens, celstofmatten, afdekdoeken, disposable dekbedden) daadwerkelijk nodig is (R1-Refuse, R2-Reduce).

- Kies herbruikbare materialen indien mogelijk. Herbruikbare afdekmaterialen zijn over het algemeen duurzamer in het gebruik. Voor bijvoorbeeld afdekmaterialen, onderleggers en dekbedden zijn herbruikbare alternatieven op de markt.
- Optimaliseer de bestaande protocollen en neem duurzaamheid hierin mee. Bekijk per operatie wat noodzakelijk is voor de patiënt.
- Intensiveer samenwerking met infectiepreventie voor het maken van een risicoafweging waarbij de risico's op een infectie/besmetting worden afgezet tegen verduurzamingsmaatregelen. Raadpleeg de SRI richtlijnen.

Optimaliseer de circulariteit van materialen door herontwerp te stimuleren (R3-redesign) en circulariteit te implementeren in het ontwerp.

Verleng waar mogelijk de levensduur en hergebruik materialen (R4-Reuse) en wijs de industrie hierop.

Overwegingen

Voor- en nadelen van de interventie en de kwaliteit van het bewijs

Op basis van de literatuur is gekeken naar de milieu-impact van materialen die in contact komen met de patiënt op de operatiekamer. Er is één systematic review gevonden (Nomack 2012) waarin LCA's zijn geïnccludeerd die de milieu-impact van steriele chirurgische afdekdoeken hebben onderzocht. Twee LCA's (IFEU, 1996; Ponder, 2009) voldeden aan de PICO en zijn geëvalueerd in deze module. Deze LCA's verschillen onder andere in methodiek (verschillende materialen, verschillende analyses), databases en aannames. Daarnaast zijn er enkele methodologische beperkingen (*risk of bias, indirectness*). De bewijskracht van de literatuur is daardoor *zeer laag* voor de cruciale uitkomstmaten 'climate change' en 'waste'. Derhalve kunnen er op basis van de literatuur geen sterke conclusies worden getrokken over de mate van milieu-impact van materialen die in contact komen met de patiënt op de operatiekamer.

Op basis van de GRADE beoordeling van de literatuur kunnen geen sterke conclusies geformuleerd worden over de precieze mate van milieu-impact van de afdekmaterialen. De studies laten verschillende resultaten zien. Hierbij moet rekening worden gehouden met mogelijke *bias*, feit is dat IFEU (1996) is gesponsord door de fabrikant van disposable textiel. Ponder (2009) is het meest recent, maar een nadeel is dat deze data niet te achterhalen is. De werkgroep ervaart een hoge urgentie om de milieu-impact te verminderen en

beschouwt de literatuurconclusies en overige overwegingen als afdoende ondersteuning om sterke aanbevelingen te doen. De werkgroep hoopt hiermee bewustwording te creëren bij zorgverleners en zo concreet mogelijk handvatten te bieden.

Onderzoekers van CE Delft hebben recent een LCA van herbruikbare en eenmalige OK-jassen en afdek materiaal verricht (Bijleveld, 2022). Herbruikbaar afdek materiaal was beschikbaar van twee verschillende leveranciers. Auteurs konden niet concluderen of eenmalige of de herbruikbare varianten van afdek materiaal altijd een lagere klimaatimpact hebben. De klimaatimpact is afhankelijk van een aantal factoren, zoals de materialen die worden gebruikt, het aantal keer hergebruik, het verpakkingsmateriaal en het was- en sterilisatieproces. Uit de resultaten bleek dat van de verschillende soorten afdekdoeken (zoals een beenlaken, zijdoek, anesthesiedoek, zelfklevend beenlaken, zelfklevend zijdoek, zelfklevend anesthesielaken) alleen de zijdoeken van leverancier 1 een grotere milieu-impact hebben. Reusable afdek materiaal lijkt over het algemeen een duurzaam alternatief voor disposable afdek materiaal (Bijleveld, 2022).

De materialen die in contact komen met de patiënt en de gevonden 'hotspots' worden in deze module geëvalueerd middels het 'R-ladder (strategieën van circulariteit)' (zie figuur 1, gebaseerd op Cramer, 2014; Hanemaaijer; 2018; Potting, 2016; Reike, 2018). Deze R-ladder laat zien dat de hoogste prioriteit om duurzaam te werken 'refuse' is, oftewel, niet gebruiken. Hoe lager het grondstofgebruik, des te hoger op de R-ladder en hoe dichter je bent bij circulair werken.



Figuur 1. Prioriteitsvolgorde circulariteit strategieën

Refuse (R1) en Reduce (R2)

Bij het gebruik van materialen die in contact komen met de patiënt (bijvoorbeeld warmtedekens, celstofmatten, afdekdoeken, lakens, disposable dekbedden) op en rond de operatietafel speelt R1-Refuse een grote rol. Daarnaast is het belangrijk om het gebruik te beperken (R2-Reduce). Gebruik materialen niet uit gewoonte, maar noodzaak moet leidend zijn om materialen gebruiken. Bijvoorbeeld:

- Moet elke operatie met maximale steriliteit (en dus materialen) worden verricht?
- Kan een celstofmat worden vervangen door een handdoek of herbruikbare onderlegger?
- Kan het aantal celstofmatten/afdekdoeken/warmtedekens worden verminderd?

De werkgroep verwacht dat bewustzijn bij beiden punten een belangrijke factor is. Zoek hierbij contact met deskundigen op het gebied van infectiepreventie, om na te gaan wat daadwerkelijk mogelijk en nodig is in dit kader. Pas protocollen aan waar nodig en neem duurzaamheid hierin mee. Bekijk per operatie wat er daadwerkelijk nodig is voor de patiënt. Bij sommige indicaties is het niet nodig om de patiënt geheel af te dekken. Denk daarbij bijvoorbeeld aan bepaalde oogheekundige of gynaecologische (cataract, curettage, manuele placentaverwijdering) ingrepen.

Redesign (R3)

Denk na of herontwerp (met de nadruk op circulariteit) mogelijk is. Produceer een product op een duurzame manier, bijvoorbeeld door het gebruik van gerecyclede materialen of door een duurzaam productieproces (bijv. duurzame energiebronnen).

Indien disposable materialen in en rondom het bed van de patiënt worden gebruikt, is het mogelijk een optie om deze te vervangen door reusable alternatieven. Als dit niet mogelijk is (bijv. de reusables bieden onvoldoende kwaliteit), kan worden ingezet op circulariteit van disposables. Zoek hierbij samenwerking met de industrie. Denk bijvoorbeeld aan afvalscheiding en hergebruik van de materialen. Herontwerp van producten, met als doel circulariteit, moet daarbij voorop staan. Duurzaamheid moet dan ook als standaard worden meegenomen in productontwerp. Daarnaast is het mogelijk om disposables anders te ontwerpen, met als doel verminderen van het materiaalgebruik. Denk dan aan een klein gatdoek i.p.v. een groot afdekdoek.

Re-use (R4)

Nomack (2012) vergelijkt reusable en disposable steriele chirurgische afdekdoeken (IFEU, 1996; Ponder, 2009) op specifieke duurzaamheidsuitkomsten. De disposable afdekdoeken hebben een lagere milieu-impact volgens IFEU (1996), daarentegen toont Ponder (2009) dat reusable afdekdoeken een lagere impact hebben voor de uitkomstmaten climate change en energy use. Hierin moet rekening worden gehouden met mogelijke *bias*, feit is dat IFEU (1996) is gesponsord door de fabrikant van disposable textiel. Ponder (2009) is het meest recent en is volgens Nomack (2012) ook compleet. Het nadeel van Ponder (2009) is dat de data niet te achterhalen is.

Daarnaast is er indertijd gekozen voor disposable afdekdoeken vanwege vermeende partikel afgifte. De eis ten aanzien van partikels geldt alleen bij orthopedische implantaatchirurgie. Voor alle overige operaties is partikelafgifte niet meer relevant en komt dit argument te vervallen als motivatie voor het gebruik van disposable afdekdoeken (NVMM, 2022).

Repair (R5), Refurbish (R6), Remanufacture (R7)

Voordat een product wordt afgedankt, is het van belang om opnieuw te kijken of de levensduur nog verlengd kan worden. De werkgroep adviseert om het repareren of opknappen van producten standaard te overwegen.

Repurpose (R8), Recycling (R9), Recover (R10)

Indien een product niet meer gebruikt kan worden, kan worden gekeken naar een nieuw doeleinde (R8-Repurpose). Terugwinning van energie en materialen kan de milieu-impact van het productieproces verlagen (R9-Recycling, R10-Recover). Het is dus de moeite waard om in te zetten op recycling en recover van materialen en energie.

Waarden en voorkeuren van patiënten (en evt. hun verzorgers)

Duurzamere alternatieven in gebruik rondom een operatie zullen ook voor patiënten een indirect positief effect hebben. Zoals bekend, heeft klimaatverandering invloed op de gezondheid van de mens en met duurzamere alternatieven wordt hier op een positieve manier aan bijgedragen (WHO, 2021). Indien de

veiligheid en effectiviteit voor de patiënt en zorgverlener gewaarborgd is kan een duurzamer alternatief worden gebruikt.

Kosten (middelenbeslag)

De werkgroep verwacht dat in veel gevallen duurzaamheid zal resulteren in kostenbesparing. Indien wordt gekozen voor het hoogst haalbare op de ladder van circulariteit (R1-Refuse, R2-Reduce), zullen bijvoorbeeld bepaalde materialen niet of minder gebruikt worden. Echter zullen alternatieven zoals herbruikbaar afdek materiaal mogelijk om een financiële investering vragen. De Raad van Bestuur van een ziekenhuis speelt een cruciale rol bij het prioriteren van duurzame initiatieven en het goedkeuren van financiële investeringen om deze te ondersteunen.

Aanvaardbaarheid, haalbaarheid en implementatie

Het is van belang dat patiëntveiligheid voorop blijft staan, maar duurzaamheid zal net als andere factoren een rol moeten spelen bij de beslissing voor de inzet van bepaalde afdek materialen. Voor de haalbaarheid en implementatie kan contact worden opgenomen met de deskundige infectiepreventie. Zie ook de handreiking 'Handreiking voor inhoudelijke afweging bij duurzaamheid initiatieven door deskundigen infectiepreventie' voor meer informatie (Green team VHIG, 2022). De werkgroep voorziet overigens geen grote haalbaarheid- of implementatiebarrières.

Rationale van de aanbeveling: weging van argumenten voor en tegen de interventies

Op basis van de gevonden literatuur is de bewijskracht voor duurzaamheidsuitkomsten zeer laag. Overwegingen richten zich voornamelijk op R1-Refuse, R2-Reduce, R3-Redesign en R4-Reuse, deze zijn dan ook meegenomen in de aanbevelingen. Ondanks de lage bewijskracht erkent de werkgroep de urgentie om de milieu-impact te verminderen. De werkgroep acht het uiterst belangrijk om meer bewustwording van duurzaamheid te creëren op het gebied van afdek materialen. Daarom vindt de werkgroep sterke aanbevelingen hier op zijn plaats.

Onderbouwing

Achtergrond

Zowel voor patiënten als zorgverleners is het belangrijk dat het risico op bacteriële en virale transmissie laag blijft tijdens een operatie. Vandaar dat gebruik wordt gemaakt van afdek materialen. Wanneer de patiënt op de operatietafel ligt, is naast contact met het afdek materiaal ook contact met bijvoorbeeld een warmtedeken of celstofmatten. In de meeste gevallen worden deze materialen tijdens een operatie eenmalig gebruikt, waarna het vervolgens bij het afval belandt. Dit resulteert in veel afval en een flinke belasting op het milieu (Axelrod, 2017). Momenteel is onduidelijk welk effect het gebruik van materialen die in contact komen met de patiënt op de operatietafel (bijvoorbeeld warmtedekens, celstofmatten, afdekdoeken, lakens, disposable dekbedden) heeft op duurzaamheidsuitkomsten. In deze module worden duurzaamheidsuitkomsten van de huidige alternatieven voor materialen die in contact komen met de patiënt op de operatietafel met elkaar vergeleken.

Conclusies / Summary of Findings

1. Climate change (critical)

Very low GRADE	The evidence is very uncertain about the effect on climate change when reusable materials (surgical drapes) are compared to disposable materials (surgical drapes) that are in contact with patients on the operating table. <i>Sources: IFEU, 1996; Ponder, 2009</i>
---------------------------	---

2. Waste (critical)

Very low GRADE	The evidence is very uncertain about the effect on waste when reusable materials (surgical drapes) are compared to disposable materials (surgical drapes) that are in contact with patients on the operating table. <i>Sources: IFEU, 1996</i>
---------------------------	--

3. Water use (important)

Very low GRADE	The evidence is very uncertain about the effect on water usage when reusable materials (surgical drapes) are compared to disposable materials (surgical drapes) that are in contact with patients on the operating table. <i>Sources: IFEU, 1996; Ponder, 2009</i>
---------------------------	--

4. Energy use (important)

Very low GRADE	The evidence is very uncertain about the effect on energy use when reusable materials (surgical drapes) are compared to disposable materials (surgical drapes) that are in contact with patients on the operating table. <i>Sources: IFEU, 1996; Ponder, 2009</i>
---------------------------	---

5. Land use (important)

- GRADE	The outcome measure 'land use' was not reported. <i>Source: -</i>
----------------	---

Samenvatting literatuur

Description of studies

Nowack (2012) performed a systematic review to analyze how environmental aspects can be derived from life cycle management instruments for procurement decisions of low-value products by using operating room textiles as the case. A comparison is made between disposable and reusable gowns and drapes (OR-textiles). Nowack (2012) identified eight LCAs in OR-textiles (Brune, 1988; Schorb, 1990; IFEU, 1996; Jäger, 1996; Dettenkofer, 1999; Schmidt, 2000; Eriksson, 2003; Ponder, 2009). Nowack (2012) included three LCAs in the analysis of OR textiles (Schmidt 2000; IFEU 1996; Ponder 2009). However, only two of these studies (IFEU,

1996; Ponder, 2009) included surgical drapes, as Schmidt (2000) only included surgical gowns. Therefore, we only include the outcomes of IFEU (1996) and Ponder (2009) in our results. Relevant outcome measures were climate change (CO₂ footprint/Global Warming Potential), waste, water use, and energy use.

Results

1. Climate Change

Nowack (2012) reported on climate change, based on two LCAs (IFEU, 1996; Ponder, 2009). IFEU (1996) defined climate change as CO₂ (g) of 30 use cycles (uc) and 75 uc of reusable and single-use drapes. There are three types of reusable drapes (cotton, blended fabric, microfiber) compared to single-use non-woven drapes. Results are presented in Table 1. The single-use non woven drape results in the lowest impact on climate change.

Ponder (2009) defined climate change as CO₂ (kg) of 75 uc of reusable drapes in comparison to 75 uc of single-use drapes. Results are presented in Table 2. The reusable drapes result in the lowest impact on climate change.

Table 1. Outcome climate change (CO₂ g): summary of results of IFEU (1996)

No. of use cycles	reusable cotton drape	reusable blended fabric drape	reusable microfiber drape	single-use non woven drape
30 uc	6,037 g CO ₂	5,110 g CO ₂	5,940 g CO ₂	3,886 g CO ₂
75 uc	5,075 g CO ₂	4,154 g CO ₂	4,716 g CO ₂	3,886 g CO ₂

Table 2. Outcome climate change (CO₂ g): summary of results of Ponder (2009)

No. of use cycles	reusable cotton/polyester	Single-use polypropylene/spunbond-meltblown-spunbond
75 uc	5.71 kg CO ₂	20.50 kg CO ₂

2. Waste

Nowack (2012) reported on waste, based on one LCA (IFEU, 1996), which described waste as the waste in kg per 30 uc and 75 uc. Results are presented in Table 3. The single-use non woven drape results in lowest waste.

Table 3. Outcome waste (in g): summary of results of IFEU (1996)

No. of use cycles	reusable cotton drape	reusable blended fabric drape	reusable microfiber drape	single-use non woven drape
30 uc	6,163 g	5,830 g	7,057 g	3,735 g
75 uc	4,210 g	3,890 g	4,672 g	3,735 g

3. Water use

Nowack (2012) reported on water use, based on two LCAs (IFEU, 1996 and Ponder, 2009). IFEU (1996) describes the outcome measure water consumption (L) of 30 uc and 75 uc of reusable and single-use drapes. Three types of reusable drapes (cotton, blended fabric and microfiber) were compared to single-use non

woven drapes. Results are presented in Table 4. The single-use non woven drape results in lowest water usage.

Ponder (2009) describes the outcome measure water consumption (kg) of 75 uc of reusable drapes in comparison to 75 uc of single-use drapes. The water use is higher for reusables. Results are presented in Table 5.

Table 4. Outcome water use (in L): summary of results of IFEU (1996)

No. of use cycles	reusable cotton drape	reusable blended fabric drape	reusable microfiber drape	single-use non woven drape
30 uc	4,690L	2,891L	239.4L	22L
75 uc	1,965L	1,241L	1,92L	22L

Table 5. Outcome water use (in L): summary of results of Ponder (2009)

No. of use cycles	reusable cotton/polyester	Single-use polypropylene/spunbond-meltblown-spunbond
75 uc	1,373.85	0.00

4. Energy use

Nowack (2012) reported on energy use, based on two LCAs (IFEU, 1996; Ponder, 2009). IFEU (1996) defined energy use as energy consumption (MJ) of 30 use cycles (uc) and 75 uc of reusable and single-use drapes. Three types of reusable drapes (cotton, blended fabric, microfiber) were compared to single-use non-woven drapes. Results are presented in Table 4. The reusable blended fabric drape (30uc) results in lowest energy consumption.

Ponder (2009) describes energy use as net energy input (input-recovery) in MJ of 75 uc of reusable (CO/PES) drapes in comparison to 75 uc of single-use (PP-SMS) drapes. The net energy input (input-recovery) for the reusable variant is lower compared to the single-use drapes (see table 7).

Table 6. Outcome cumulative energy consumption (MJ): summary of results of IFEU (1996)

No. of use cycles	reusable cotton drape	reusable blended fabric drape	reusable microfiber drape	single-use non woven drape
30 uc	99,314 MJ	94,174 MJ	111,616 MJ	96,428 MJ
75 uc	83,567 MJ	72,878 MJ	85,527 MJ	96,428 MJ

Table 7. Outcome net energy input (in MJ): summary of results of Ponder (2009)

No. of use cycles	reusable cotton/polyester	Single-use polypropylene/spunbond-meltblown-spunbond
75 uc	65.05	225.95

5. Land use

Outcome is not reported.

Level of evidence of the literature

The working group assessed the level of evidence using GRADE and used the quality assessment for systematic reviews of RCTs/LCAs and observational studies to provide an indication of the study quality. This quality assessment is based on the AMSTAR checklist and PRISMA checklist (Shea, 2017; Moher, 2009). As the systematic review Nowack (2012) included LCAs (e.g. IFEU, 1996; Ponder, 2009), the level of evidence started at grade *high*.

The level of evidence of the outcome measure 'climate change' was downgraded with 3 levels to *very low* due to risk of bias (-2; lack of data sources and transparency, limited internal validity of data, usage of outdated data in LCAs) and indirectness (-1; heterogeneity of interventions/materials, limited representativeness of data).

The level of evidence of the outcome measure 'waste' was downgraded with 3 levels to *very low* due to risk of bias (-2; lack of data sources and transparency, limited internal validity of data due to usage of outdated data in LCAs) and indirectness (-1; heterogeneity of interventions/materials, limited representativeness of data as data were included from only one study).

The level of evidence of the outcome measure 'water use' was downgraded with 3 levels to *very low* due to risk of bias (-2; lack of data sources and transparency, limited internal validity of data, usage of outdated data in LCAs) and indirectness (-1; heterogeneity of interventions/materials, limited representativeness of data).

The level of evidence of the outcome measure 'energy use' was downgraded with 3 levels to *very low* due to risk of bias (-2; lack of data sources and transparency, limited internal validity of data, usage of outdated data in LCAs) and indirectness (-1; heterogeneity of interventions/materials, limited representativeness of data).

The outcome measure 'land use' was not reported, thus could not be graded.

Zoeken en selecteren

A systematic review of the literature was performed to answer the following question: *What is the effect on environmental sustainability of disposable materials (i.e. heat blankets, surgical drapes, disposable duvets, cellulose pads) in comparison with alternative reusable or sustainable (e.g. biobased) materials that are in contact with patients on the operating table?*

P: Patients on the operating table

I: Reusable or sustainable (e.g. bio-based) alternative for heat blanket (bair hugger), surgical drapes, disposable duvet and cellulose pads

C: Use of disposable heat blanket (bair hugger), disposable surgical drapes, disposable duvet and disposable cellulose pads

O: Climate change (CO₂ footprint/Global Warming Potential), waste, water use, land use, energy use

Relevant outcome measures

Life cycle assessment (LCA) is a methodological tool used to quantitatively analyse the life cycle of products/activities within the context of environmental impact. The assessment comprises all stages needed

to produce and use a product, from the initial development to the treatment of waste (the total life cycle). An LCA is mainly based on four phases: 1) goal and scope definition, 2) inventory analysis, 3) impact assessment, and 4) interpretation. The third phase is the life cycle impact assessment (LCIA), in which emissions and resource extractions are translated into a limited number of environmental impact scores by means of so-called characterisation factors. The ReCiPe model is a method for the impact assessment in an LCA (Huijbregts, 2016, Huijbregts, 2017). To determine the outcome measures regarding environmental impact, the ReCiPe model of the National Institute for Public Health and the Environment (in Dutch: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM) was used.

The outcomes determined by the working group are based on the ReCiPe model. The working group considered climate change (CO₂ footprint/Global Warming Potential) and waste as a *critical* outcome measure for decision making; and water use, land use, and energy use as an *important* outcome measure for decision making.

A priori, the working group did not define the outcome measures listed above but used the definitions used in the studies.

Outcomes focused on environmental life cycle assessment (LCA) impact categories are relatively new in healthcare. Given the variety in scopes and methods of performing and reporting LCAs, the working group did not define a priori the minimal important difference. Differences between the techniques were evaluated by the working group after data extraction.

A glossary including the outcome measures is found in module 'operatietechnieken'.

Search and select (Methods)

The databases Pubmed (via NCBI), Embase (via OVID), Web of Science (via Webofscience), Cochrane (via Cochrane library) and Emcare (via OVID) were searched with relevant search terms from 1980 until 7 December 2021. The detailed search strategy is depicted under the tab Methods. The systematic literature search resulted in 461 hits. Studies for this module were selected based on the following criteria:

- Systematic reviews in which searches were performed in at least two databases, with a detailed search strategy, risk of bias assessment and results of individual studies available, randomized controlled trials, (observational) comparative studies, Life Cycle Assessments;
- Full-text English or Dutch language publication; and
- Studies according to the PICO. This included studies that compared sustainable alternatives for heat blanket (bair hugger), surgical drapes, disposable duvet and cellulose pads compared with the use of standard heat blanket (bair hugger), surgical drapes, disposable duvet and cellulose pads, and included at least one of the outcomes conform the PICO.

After reading the full text, one study was included in the literature summary of this module.

Results

One study was included in the analysis of the literature, the study was a systematic review. Important study characteristics and results are summarized in the evidence table (Appendix 1). The assessment of the systematic review is summarized in the quality appraisal table for systematic reviews (Appendix 2).

Verantwoording

Laatst beoordeeld : 08-01-2024

Voor de volledige verantwoording, evidence tabellen en eventuele aanverwante producten raadpleegt u de Richtlijndatabase.

Referenties

- Axelrod D, Bell C, Feldman J, et al. Greening the operating room and perioperative arena: environmental sustainability for anesthesia practice. Schaumburg: American Society of Anesthesiologists; 2017.
- Bijleveld M, Uijtewaald M. LCA herbruikbare en eenmalige ok-jassen en afdekmaterialen. CE Delft. 2022. https://ce.nl/wp-content/uploads/2022/05/CE_Delft_210440_LCA_herbruikbare_en_eenmalige_ok-jassen_en_afdekmaterialen_def.pdf
- Brune D, Krauch H (1988) Ökobilanz von Operations- und Klinikmaterialien aus beschichtetem Zellstoff, aus ausgerüstetem Baumwollpolyestergewebe und Textillaminaten. Kassel, Brussels.
- Dettenkofer M, Griebhammer R, Scherrer M, Daschner F (1999) Einweg- versus Mehrweg-Patientenabdeckung im Operationssaal Ökobilanz: Vergleich von Zellstoff-Polyethylen- und Baumwollmischabdeckung. Der Chirurg 70:485491
- Drew J, Christie SD, Tyedmers P, Smith-Forrester J, Rainham D. Operating in a Climate Crisis: A State-of-the-Science Review of Life Cycle Assessment within Surgical and Anesthetic Care. Environ Health Perspect. 2021 Jul;129(7):76001. doi: 10.1289/EHP8666. Epub 2021 Jul 12. PMID: 34251875; PMCID: PMC8274692.
- Eriksson E, Berg H (2003) Livscykelanalys av operationsrockar. Göteborg.
- Institut für Energie und Umweltforschung (IFEU) (1996) Ökobilanz für OP-Abdecksysteme und OP-Kittel. Heidelberg.
- Jäger WR (1996) Ökobilanz Rentex-OP-Set und Einweg-OP-Set. Düsseldorf.
- Green team VHIG, 2022. Handreiking voor inhoudelijke afweging bij duurzaamheid initiatieven door deskundigen infectiepreventie. <https://www.oogheekunde.org/wp-content/uploads/2022/08/Handreiking-duurzaamheids-initiatieven-infectiepreventie.pdf>
- Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG; PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. PLoS Med. 2009 Jul 21;6(7):e1000097. doi: 10.1371/journal.pmed.1000097. Epub 2009 Jul 21. PMID: 19621072; PMCID: PMC2707599.
- Nowack, M., Hoppe, H. & Guenther, E. Review and downscaling of life cycle decision support tools for the procurement of low-value products. Int J Life Cycle Assess 17, 655-665 (2012). <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0401-3>
- NVMM, 2022; Richtlijn 'Luchtbehandeling in operatiekamers en behandelkamers'
- Schorb A (1990) Ökobilanz von Hygieneprodukten für den Krankenhausbereich. 2. Aufl. Heidelberg
- Schmidt D (2000) Simplified life cycle assessment of surgical gowns second draft.
- Shea BJ, Grimshaw JM, Wells GA, Boers M, Andersson N, Hamel C, Porter AC, Tugwell P, Moher D, Bouter LM. Development of AMSTAR: a measurement tool to assess the methodological quality of systematic reviews. BMC Med Res Methodol. 2007 Feb 15;7:10. doi: 10.1186/1471-2288-7-10. PMID: 17302989; PMCID: PMC1810543.
- Ponder, C. S. (2009). *Life cycle inventory analysis of medical textiles and their role in prevention of nosocomial infections*. North Carolina State University.
- WHO, 2021. World Health Organization. Fact sheet: Climate change and health. Accessed at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>. 30 October 2021.

Anesthesie

Uitgangsvraag

Wat is de rol van duurzaamheid bij anesthesie?

Zie een schematisch overzicht van de module in '[Samenvatting](#)'.

Aanbeveling

- In het algemeen is Totaal Intraveneuze Anesthesie (TIVA) de eerste keuze bij algehele anesthesie. Indien het gebruik van inhalatie-anesthetica toch noodzakelijk wordt geacht, gebruik dan sevofluraan en beschrijf wanneer en waarom dit gebruikt wordt, bijvoorbeeld bij kinderen bij wie intraveneuze toegang verkrijgen zeer problematisch is.
- Bespreek binnen de vakgroep welke indicaties de vakgroep hanteert voor het gebruik van sevofluraan.
- Minimaliseer de milieuschade bij het gebruik van sevofluraan (bijvoorbeeld door middel van End-tidal dosering of ultra low-flow <0.5 l min⁻¹).
- Het gebruik van lachgas dient zo veel mogelijk vermeden te worden.
- Beschrijf bovenstaande punten in een lokaal protocol.

Overwegingen

Voor- en nadelen van de interventie en de kwaliteit van het bewijs

In deze module evalueert de werkgroep de milieu-impact van verschillende soorten anesthesietechnieken. Er werden in totaal vier studies gevonden. Twee LCA's vallen onder PICO1 (intraveneuze anesthetica versus inhalatie anesthetica), één LCA onder PICO2 (inhalatie-anesthetica met en zonder Vapour Capture Technology) en één LCA onder PICO3 (locoregionaal/lokaal versus algehele anesthesie). Omdat er geen uniforme en standaard GRADE methodiek specifiek is ontwikkeld voor LCA's (Morgan, 2016; Morgan, 2019), is ervoor gekozen om GRADE waar mogelijk toe te passen. De bewijskracht voor de cruciale uitkomstmaten 'climate change' en 'waste' komt uit op *zeer laag*. Derhalve kunnen er op basis van de literatuur geen sterke conclusies worden getrokken over de mate van milieu-impact van de verschillende anesthesietechnieken. Echter, wijzen de resultaten van de LCA's dezelfde richting op. Dit geeft inzicht in waar de grootste milieu-impact zich bevindt. Gezien deze consequente richting, geïdentificeerde hotspots en de urgentie om de milieu-impact te verminderen, beschouwt de werkgroep dit als afdoende ondersteuning om sterke aanbevelingen te formuleren.

De geïnccludeerde LCA's zijn kritisch beoordeeld volgens Drew (2021), zie [Appendix 'Critical appraisal of LCA's'](#). De kwaliteit van de studies wordt hiermee beoordeeld op basis van de methodologie van een LCA. Dit scoresysteem bestaat uit 16 beoordelingscriteria, die zijn verdeeld over de verschillende fasen van een LCA. Het behandelt een reeks indicatoren voor studiekwaliteit, zoals *interne validiteit*, *externe validiteit*, *consistentie*, *transparantie* en *bias*. De procentuele score geeft een indicatie van de algehele studiekwaliteit. Een hogere score duidt op een hogere algehele studiekwaliteit. McGain (2021) scoort met 91% het hoogst in vergelijking met Hu (2021; 81%), Sherman (2012; 83%) en Thiel (2018; 77%).

De verschillende soorten anesthesie en de geïdentificeerde hotspots uit de studies worden geëvalueerd middels het 'R-ladder (strategieën van circulariteit)' (zie figuur 1, gebaseerd op Cramer, 2014; Hanemaaijer; 2018; Potting, 2016; Reike, 2018). Deze R-ladder laat zien dat de hoogste prioriteit om duurzaam te werken 'refuse' is, oftewel, niet gebruiken. Hoe lager het grondstofgebruik, des te hoger op de R-ladder en hoe dichter je bent bij circulair werken.



Figuur 1. Prioriteitsvolgorde circulariteit strategieën

Refuse (R1) en Reduce (R2)

Drie LCA's (Sherman, 2012; Thiel, 2018; Hu, 2021) beschrijven algehele anesthesie en McGain (2021) beschrijft het gebruik van neuraxiale anesthesie. De studies impliceren dat algehele anesthesie met inhalatie-anesthetica resulteert in een grotere milieu-impact in vergelijking met intraveneuze anesthesie. Het vervangen van inhalatie-anesthetica met intraveneuze anesthetica leidt naar verwachting tot milieuwinst (R1-Refuse).

Spinale anesthesie

McGain (2021) stelt dat spinale anesthesie een grotere negatieve milieu-impact heeft, in vergelijking met zowel algehele als gecombineerde anesthesie. Dit is voornamelijk te wijten aan het energieverbruik van de 'air warmer' van de patiënt en het zuurstof opvang systeem, het gebruik van disposables en het verbruik van energie voor het reinigings-, desinfectie- en sterilisatieproces. De hogere flow rate die wordt beschreven voor toediening van zuurstof (spinale anesthesie: 6-10 l/min, algehele anesthesie: 0.5-3 l/min) wordt daarnaast gezien als belangrijke oorzaak voor de bijdrage in milieu-impact. De hogere flow in combinatie met de langere operatietijd (spinale anesthesie: 200 min, algehele anesthesie: 161 min, gecombineerde anesthesie: 189 min) vraagt een groter energieverbruik en hiermee een grotere negatieve milieu-impact (McGain, 2021). In Nederland is deze langere operatietijd bij spinale anesthesie ongebruikelijk. In tegenstelling tot McGain (2021), wordt uit in een andere studie geconcludeerd dat spinale anesthesie op basis van medicatiegebruik een lagere CO₂-footprint heeft dan algehele anesthesie (Whang, 2022). Al met al moeten deze resultaten voorzichtig worden geïnterpreteerd wegens methodologische beperkingen in de studies. Daarnaast zijn de resultaten mogelijk niet te generaliseren naar de Nederlandse setting.

Algehele anesthesie

Algehele anesthesie kan worden onderhouden met inhalatie-anesthetica en/of intraveneuze anesthetica.

Inhalatie-anesthetica

Desfluraan als inhalatie-anestheticum laat een grote milieu-impact zien, met name doordat het een sterk broeikasgas is (GWP₁₀₀ 2540). Ondanks het gebruik van Vapour Capture Technology (VCT), waarbij inhalatie-anesthetica wordt opgevangen, of het niet gebruiken van lachgas, blijft desfluraan een grotere impact hebben in vergelijking met sevofluraan of isofluraan. De werkgroep raadt het gebruik van desfluraan dan ook af. Daarnaast toont Sherman (2012) aan dat isofluraan een lagere milieu-impact heeft dan sevofluraan. Ondanks dat isofluraan een sterker broeikasgas (GWP₁₀₀ 510) is, heeft de gehele levenscyclus van sevofluraan (GWP₁₀₀ 130) een grotere milieu-impact wegens het productieproces (Sherman, 2012). Dit is te verklaren doordat meer sevofluraan (8.0 mL) dan isofluraan (2.0 mL) voor 1-MAC/hour wordt gebruikt. Hierdoor zal meer sevofluraan geproduceerd moeten worden. Hu (2021) toont dezelfde resultaten. Hu (2021) laat zien dat het gebruik van VCT resulteert in een gelijke milieu-impact van inhalatie-anesthetica als die van intraveneuze anesthesie (R2-Reduce), indien er geen lachgas wordt gebruikt en een lage flow (0.5 L/min). Isofluraan in combinatie met VCT leidt tot een lagere milieu-impact dan sevofluraan in combinatie met VCT (Hu, 2021). De werkgroep benadrukt dat lachgas (310 GWP) ook als broeikasgas werkt en een negatieve impact heeft op het milieu. Dit draagt zowel bij Sherman (2012) als Hu (2021) voor een groot deel bij aan de milieu-impact. Sevofluraan en isofluraan met VCT lijken goede alternatieven in vergelijking met intraveneuze anesthetica. Echter, Hu (2021) gaat hierbij uit van een recapture rate van 70%, terwijl Hinterberg (2022) een recapture rate meet van 25%. Bij gebruik van VCT wordt inhalatie-anesthetica opgevangen en zou het vervolgens als grondstof voor nieuwe inhalatie-anesthetica kunnen worden gebruikt (R9-Recycling). Echter is het in Nederland wettelijk (nog) niet toegestaan om opgevangen inhalatie-anesthetica opnieuw toe te dienen aan patiënten.

Om deze redenen heeft de werkgroep op dit moment de voorkeur voor intraveneuze anesthesie. Indien mogelijk, adviseert de werkgroep inhalatie-anesthetica niet te gebruiken (R1-Refuse). Per patiënt dient een nauwkeurige afweging te worden gemaakt. Als inhalatie-anesthetica nodig wordt geacht, dan kan VCT worden overwogen.

Intraveneuze anesthetica

Bij het gebruik van intraveneuze anesthesie, is het van belang om een goede inschatting te maken van de hoeveelheid propofol die nodig is per operatie. Bij een korte operatie is het mogelijk om minder te gebruiken en een kleinere ampul op te trekken (Reduce-R2). Omdat geneesmiddelen voor 18% bijdragen aan de CO₂-voetafdruk van de gezondheidszorg, dient men verspilling tegen te gaan (Gupta Strategists, 2019).

Indien het gebruik van inhalatie-anesthetica toch noodzakelijk wordt geacht, houd dan het verbruik zo laag mogelijk door middel van een lage flow (0,3-0,5L/min), maak gebruik van een beademingsmachine met end-tidal functie en kies voor inhalatie-anesthetica met een lage impact (R2-Reduce).

De Nederlandse Vereniging voor Anesthesiologie geeft verschillende adviezen hoe te verduurzamen op de operatiekamer (NVA, 2021). Momenteel wordt de NVA Leidraad Anesthesiologische zorgverlening ontwikkeld, waarin ook duurzaamheid verwerkt wordt. Hier zullen onder andere de adviezen omtrent onderhoudsanesthetica verder uitgekristalliseerd worden.

Redesign (R3)

Met betrekking tot R3-Redesign zijn er geen specifieke overwegingen met betrekking tot deze studies.

Re-use (R4)

Bij anesthesie wordt gebruik gemaakt van disposables, daarom kan de overgang naar het gebruik van reusables een goede oplossing zijn om de milieu-impact te verlagen (zie module Reusables versus disposables). McGain (2021) laat zien dat de onderzochte reusables in Australië en China een grote impact hebben en disposables dus milieuvriendelijker zijn, maar dat in de EU en het VK het milieuvriendelijker is om disposables te vervangen voor reusables. Dit verschil wordt veroorzaakt door het type energiebron dat wordt gebruikt voor het reinigings- en sterilisatieproces. Zo gebruikt de EU minder steenkool en leunt ze meer op duurzame energiebronnen.

Wat betreft spinale anesthesie, draagt de hotspot 'elektriciteit voor het reinigen en steriliseren voor reusables, plastics en operatiejassen' voor een groot deel (27%) bij aan de milieu-impact (McGain, 2021). In de meeste Nederlandse klinieken worden geen operatiejassen meer gebruikt bij spinale anesthesie en in plaats van reusable materialen worden veelal disposables gebruikt. De impact van deze categorie op spinale anesthesie zal in Nederland dus tot een ander resultaat kunnen leiden. Echter laten de resultaten ook zien dat het in de EU milieuvriendelijker is om reusables te gebruiken (McGain, 2021). Het gebruik van minder materialen en reusables zal in Nederland dus mogelijk een positieve invloed hebben op de milieu-impact.

Daarnaast leidt het elektriciteitsverbruik in Australië tot een grotere milieu-impact dan in Nederland, omdat Nederland meer leunt op duurzame energiebronnen. In Australië hebben reusables dan ook een grotere negatieve milieu-impact dan disposables (McGain, 2021), wat daardoor ook de milieu-impact van spinale anesthesie in Australië beïnvloedt.

Repair (R5), Refurbish (R6), Remanufacture (R7)

Met betrekking tot R5-Repair, R6-Refurbish en R7-Manufacture zijn er geen specifieke overwegingen met betrekking tot deze studies.

Repurpose (R8), Recycling (R9), Recover (R10)

Vapour Capture Technology is nog volop in ontwikkeling en wordt momenteel nog beperkt toegepast in Nederland. In Nederland vindt het recyclen en verwerken van de inhalatie-anesthetica nog niet plaats, maar op een andere locatie in Europa, waardoor transport van de opgevangen anesthetica nodig is. Daarnaast is het wettelijk nu (nog) niet toegestaan om gerecyclede anesthetica toe te dienen aan patiënten. Hu (2021) laat zien dat als 70% wordt opgevangen en Vapour Capture Technology gebruikt wordt, de milieu-impact van sevofluraan en isofluraan evenredig kan zijn aan die van propofol. Ook kan de huidige technologie momenteel nog maar een beperkt deel van inhalatie-anesthetica opvangen. Hinterberg (2022) mat een recapture rate van 25% desfluraan.

Waarden en voorkeuren van patiënten (en evt. hun verzorgers)

Voor de patiënt is het van belang dat de vorm van anesthesie veilig en effectief is en passend bij het type operatie. Duurzamer werken rondom een operatie zal ook op de volksgezondheid een positief effect hebben. Desfluraan heeft de grootste impact op het milieu en moet worden vermeden. Omdat er voldoende veilige en effectieve alternatieven zijn, zoals sevofluraan of isofluraan, zal dit geen invloed hebben op de behandeling van de patiënt. De werkgroep vindt het van belang om de milieu-impact mee te nemen in de keuze voor onderhoudsmedicatie van algehele anesthesie.

Kosten (middelenbeslag)

De werkgroep verwacht dat duurzaamheid in veel gevallen zal resulteren in kostenbesparing. Kosten spelen naar verwachting een rol in de keuze voor het type anesthesie. Desfluraan is duurder dan sevofluraan en propofol en de laatste twee zijn nagenoeg gelijk qua kosten.

Aanvaardbaarheid, haalbaarheid en implementatie

De keuze van de vorm van anesthesie ligt bij de zorgverlener en wordt bepaald door veel verschillende factoren (e.g. effectiviteit, veiligheid, patiëntkarakteristieken, gebruiksgemak). De werkgroep vermoedt dat duurzaamheid met betrekking tot de keuze in anesthesie nog niet standaard wordt meegenomen. Het vergt meer bewustwording over de milieu-impact van de verschillende interventies en hun hotspots om duurzaamheid mee te kunnen laten wegen in een beslissing.

Deze module betreft een eerste verkenning in het veld, specifiek gericht op duurzaamheidsuitkomsten. De werkgroep is zich ervan bewust dat duurzaamheidsverandering en het duurzaamheidsvraagstuk omtrent anesthesie complex is. Hopelijk kan vervolgonderzoek leiden tot een hogere bewijskracht en concretere handvatten voor het klinische veld. De werkgroep verwacht dat het gebruik van deze leidraad voor implementatie van duurzaamheid in wetenschappelijke richtlijnen de bewustwording onder zorgverleners zal vergroten. De werkgroep verwacht dat bestaande initiatieven en vervolgonderzoek (zoals bijvoorbeeld geïnitieerd door het Ministerie van VWS en Nederlandse Vereniging voor Anesthesiologie) in de toekomst zullen leiden tot meer concretere handvatten.

Rationale van de aanbeveling: weging van argumenten voor en tegen de interventies

De keuze voor het geneesmiddel voor onderhoud van anesthesie ligt bij de zorgverlener, welke wordt bepaald door verschillende factoren (e.g. effectiviteit, veiligheid, patiëntkarakteristieken, gebruiksgemak). De resultaten van de LCA's wijzen consequent dezelfde richting op en tonen dat intraveneuze anesthetica een lagere milieu-impact heeft. Ondanks de lage bewijskracht vindt de werkgroep dat duurzaamheid een rol moet spelen in de keuze voor anesthesie. De werkgroep benadrukt de urgentie om de milieu-impact te verminderen, hiervoor is meer bewustwording in de klinische praktijk van belang. Anesthesiologen hebben altijd de patiënt op nummer één staan en zetten hun expertise in om te kiezen voor de best passende en veilige inzet van middelen. Tegelijk draagt de operatieve zorg bij aan de belasting van maatschappij en milieu. Er zijn steeds meer sectoren waar regelgeving wordt opgelegd, daar wil de Nederlandse Vereniging voor Anesthesiologie het liefst van wegblijven (NVA Leidraad, 2024).

Anesthesiologen willen elkaar inspireren en motiveren om de uitstoot te beperken. Met de gedrevenheid om dit vakgebied te verbeteren en nieuwe technieken te omarmen kunnen anesthesiologen een aanzienlijk verschil maken. Daarom is het uitgangspunt van de Nederlandse Vereniging voor Anesthesiologie: intraveneus als het kan en damp als de situatie daar om vraagt. Zo leveren anesthesiologen een grote bijdrage aan een groenere operatiekamer (NVA Leidraad, 2024).

Deze aanbevelingen zijn gelijk aan de aanbevelingen zoals die zijn gedaan in de NVA Leidraad Perioperatieve zorg (2024). Bij herziening van de Leidraad Perioperatieve zorg, zullen ook deze aanbevelingen wijzigen.

Onderbouwing

Achtergrond

Wanneer patiënten een operatie onder algehele anesthesie ondergaan, kan de anesthesie worden onderhouden met inhalatie-anesthetica of intraveneuze anesthesie. De middelen die voor inhalatie-anesthetica worden gebruikt, fungeren als broeikasgassen. Het gebruik van inhalatie-anesthetica lijkt slechter voor het milieu dan het gebruik van intraveneuze anesthetica. Er zijn daarnaast meerdere methoden van anesthesie mogelijk, namelijk (loco)regionale of lokale anesthesie. In deze module worden de effecten op duurzaamheid van de verschillende soorten anesthesie geëvalueerd.

Conclusies / Summary of Findings

Sub-question 4.1 inhalation anaesthetics vs. intravenous anaesthetics

1.1 Climate Change (critical)

Very low GRADE	The evidence is very uncertain about the effect on climate change when inhalation anaesthetics is compared to intravenous anaesthetics in patients who underwent a surgical procedure under general anaesthesia. <i>Sources: Sherman, 2012; Thiel, 2018</i>
-------------------	--

1.2 Waste (critical), 1.3. Medicine residue in water (important), 1.4 Human toxicity (important), 1.5 Ozone depletion (important)

- GRADE	Outcome measures 'waste', 'medicine residue in water', 'human toxicity' and 'ozone depletion' were not reported. <i>Sources: -</i>
----------------	---

Sub-question 4.2 with vs. without Vapour Capture Technology

2.1 Climate Change (critical)

Very low GRADE	The evidence is very uncertain about the effect on climate change when inhalation anaesthetics with Vapour Capture Technology is compared to inhalation anaesthetics without Vapour Capture Technology in patients who underwent a surgical procedure under general anaesthesia. <i>Sources: Hu, 2021</i>
-----------------------	--

2.2 Waste (critical), 2.3. Medicine residue in water (important), 2.4 Human toxicity (important), 2.5 Ozone depletion (important)

- GRADE	Outcome measures 'waste', 'medicine residue in water', 'human toxicity' and 'ozone depletion' were not reported. <i>Sources: -</i>
----------------	---

Sub-question 4.3 (loco)regional anaesthesia and local anaesthesia vs. general anaesthesia

3.1 Climate Change (critical)

Very low GRADE	The evidence is very uncertain about the effect on climate change when (loco)regional anaesthesia and local anaesthesia is compared to general anaesthesia in patients who underwent a surgical procedure. <i>Sources: Hu, 2021</i>
-----------------------	--

3.2 Waste (critical)

Very low GRADE	The evidence is very uncertain about the effect on waste when (loco)regional anaesthesia and local anaesthesia is compared to general anaesthesia in patients who underwent a surgical procedure. <i>Sources: Hu, 2021</i>
-----------------------	---

3.3. Medicine residue in water (important), 3.4 Human toxicity (important), 3.5 Ozone depletion (important)

- GRADE	Outcome measures 'medicine residue in water', 'human toxicity' and 'ozone depletion' were not reported. <i>Sources: -</i>
----------------	--

Samenvatting literatuur

Summary of literature – Sub question 4.1

Description of studies

Sherman (2012) conducted an LCA to compared five types of anaesthetic drugs (sevoflurane, desflurane,

isoflurane, N₂O, propofol) to inform clinician drug selection on the environmental impact of the drugs. The functional unit was 1 Minimum Alveolar Concentration (MAC), or MAC-equivalent for propofol, for maintenance anaesthesia for an average 70 kg adult patient for 1 hour (1 MAC-h). Included stages in the life cycle of the drug were raw material extraction, production, transport (to health care facilities), drug delivery (to the patient), and disposal. Additionally, the waste gas of the agent in the atmosphere and N₂O release were considered. Data on transport, drug transportation, energy requirements, and disposal were collected from the Yale-New Haven Hospital. Ecolnvent was used as primary data source. When data regarding the drugs was unavailable in Ecolnvent, proxies that best matched the production characteristics of the drug were used. The outcome measure was climate change.

Thiel (2018) conducted a hybrid LCA to examine the efficacy of sustainable interventions to reduce Greenhouse Gas (GHG) emissions in the operating room (OR). Baseline emissions for a laparoscopic hysterectomy were calculated based on an average of 17 hysterectomies extracted from a previous study in the USA (Thiel, 2017). Further data was obtained from EIO-LCA and Ecolnvent. Life cycle GHGs were calculated for interventions regarding anaesthetics, surgical materials, and energy. To model anaesthetic interventions, an average anaesthetic duration of 150 minutes was assumed. The outcome measure was climate change.

Summary of literature – Sub question 4.2

Description of studies

Hu (2021) used a Life Cycle Inventory Analysis (LCI) to calculate the carbon footprint of general anaesthetics. Thereby the potential impact of Vapour Capture Technology was provided. The functional unit for the anaesthetics was 1 Minimum Alveolar Concentration hour (MAC-h), or MAC-h equivalent for propofol. Raw material extraction, manufacturing, packaging, use, and waste of anaesthetic gases were included in the analysis. Since information on synthesizing general anaesthetics was not publicly available, two methods were modelled for the manufacturing process of the drugs: Method A (relatively older manufacturing processes) and Method B (newer manufacturing processes). Synthesis of propofol liquid was included. Transportation, energy consumption for using general anaesthetics in the OR, use of disposables, and propofol end of life waste was excluded from the analysis. For the Vapour Capture Technology effect, it was assumed that inhalational anaesthetic gases (IAG) can only be recycled once. Three scenarios are compared with different gas flow rates. Within these scenarios, for sevoflurane both US and UK situations are modelled.

Summary of literature – Sub question 4.3

Description of studies

McGain (2021) conducted an LCA to examine the CO₂ equivalent emissions associated with 1) general anaesthesia (either volatile gas anaesthetics or total intravenous anaesthesia), 2) spinal anaesthesia, and 3) combined (general and spinal) anaesthesia during total knee replacement. The functional unit was all anaesthesia for a total knee replacement. Anaesthesia data were obtained from 30 patients undergoing total knee replacement in an Australian hospital. Data from literature and databases such as Ecolnvent and Australian Life Cycle Inventory were used. The outcome measures were climate change and waste.

Results

Sub question 4.1 inhalation anaesthetics versus intravenous anaesthetics

1.1 Climate Change

Two studies reported on climate change. Sherman (2012) showed outcomes only graphically (Figure 1 in the article), so we read values from this figure. Authors defined climate change as GHG-emissions (in CO₂ equivalents).

Considering the N₂O/O₂ admixture, desflurane has the biggest impact with approximately 56,000 g CO₂eq, followed by sevoflurane with 46,000 g CO₂eq, and isoflurane 24,000 g CO₂eq. The emissions of propofol could not be depicted from the figure (too small). The biggest hotspot was the N₂O release.

Considering the O₂/air admixture, desflurane has the greatest impact followed by isoflurane and sevoflurane. This change in impact between isoflurane and sevoflurane is attributable to the higher GWP for isoflurane (using O₂/air leads to a higher impact for isoflurane) and conversely the higher gas flow requirements for sevoflurane when using N₂O/O₂ (more N₂O usage).

Considering the life cycle, desflurane has the biggest impact (700 g CO₂eq), followed by sevoflurane (430 g CO₂eq), isoflurane (200 g CO₂eq), and propofol (25 g CO₂eq). For desflurane the largest hotspot is agent manufacturing, followed by delivery of the drug to the patient (electricity required for volatilization), and N₂O manufacturing. Sevoflurane and isoflurane have similar profiles, including the largest hotspot of N₂O manufacturing, followed by agent manufacturing, and packaging.

Thiel (2018) reported a baseline case including an average of 17 laparoscopic hysterectomies, with inclusion or exclusion of anaesthesia. The baseline case including and excluding anaesthesia resulted in 562 kg CO₂eq and 402 kg CO₂eq, respectively. Using desflurane only resulted in the largest emission of 762 kg CO₂eq, followed by desflurane with NO₂ (757 kg CO₂eq), sevoflurane with NO₂ (416 kg CO₂eq), sevoflurane only (410 kg CO₂eq), and propofol only (402 kg CO₂eq).

1.2 Waste, 1.3. Medicine residue in water, 1.4 Human toxicity, 1.5 Ozone depletion

Outcomes were not reported.

Sub question 4.2 with vs. without use of Vapour Capture Technology

2.1. Climate Change

Hu (2021) reported on the outcome climate change. The results on climate change are graphically shown in Figure 2-4 (Hu, 2021). Three different scenarios are studied:

1. Fresh gas flow of 1L (UK) or 2L (US)/min, % gas flow O₂/N₂O = 40/60
2. Fresh gas flow of 1L (UK) or 2L (US)/min, % gas flow O₂/N₂O = 100/0
3. Fresh gas flow of 0.5L/min, % gas flow O₂/N₂O = 100/0

Desflurane has the highest carbon footprint in all scenarios and propofol the lowest carbon footprint. Eliminating NO₂ leads to lower carbon footprints. Low fresh gas flow (scenario 3) resulted in the lowest the carbon footprint for all IAGs. The biggest hotspot for desflurane and isoflurane was the waste IAG, for sevoflurane the manufacturing process, and for propofol the drug administration.

Regarding manufacturing method (A vs. B), for all three anaesthetic gases (desflurane, Propofol, sevoflurane), method A (relatively older manufacturing processes) resulted in a larger carbon footprint when compared to method B (newer manufacturing processes). Reduction of the carbon footprint for the production of

sevoflurane can be achieved by avoiding the use of tetrafluoroethylene (84% reduction). The US method leads to a higher impact. Using Vapour Capture Technology results in lower carbon footprints for all anaesthetic gases.

When using a fresh gas flow rate of 0.5L/min, with method-B as the manufacturing process, the carbon footprint of sevoflurane is comparable to propofol. However, when the manufacturer of propofol uses renewable energy the carbon footprint can be cut by half.

2.2 Waste, 2.3. Medicine residue in water, 2.4 Human toxicity, 2.5 Ozone depletion

Outcomes were not reported.

Sub question 4.3 (loco)regional anaesthesia and local anaesthesia vs. general anaesthesia

3.1. Climate Change

McGain (2021) reported on the outcome climate change. Three hours of propofol (700 mg/h) will result in less than 50 g CO₂eq. The total emissions and mean anaesthesia duration times were:

- General anaesthesia: 14.9 kg CO₂eq (95%CI 9.7 to 22.5), 161 min (95%CI 113 to 193)
- Spinal anaesthesia: 16.9 kg CO₂eq (95%CI 13.2 to 20.5), 200 min (95%CI 168 to 288)
- Combination anaesthesia: 18.5 kg CO₂eq (95%CI 12.5 to 27.3), 189 min (95%CI 128 to 241)

Electricity for the patient air warmer was responsible for at least 2.46 kg CO₂eq for all approaches. Total single-use plastics and glass were responsible for 3.5 CO₂eq (general), 3.4 CO₂eq (spinal), and 4.3 CO₂eq (combination).

Pharmaceuticals beyond gases were responsible for 1.2 to 1.3 CO₂eq (7 to 8%). For general anaesthesia, sevoflurane was responsible for 4.7 kg CO₂eq (95%CI 2.7 to 8.6). Patients who received propofol represented the minimum of 8.4 kg CO₂eq in the general anaesthesia group. In the combination group, sevoflurane contributed for 3.1 kg CO₂eq (95%CI 0.6 to 10).

International comparisons were made by changing energy sources. Australia and China are more coal reliant, where the EU and UK are more dependent on nuclear and hydro/wind/solar sources. In the EU, spinal anaesthesia has a lower carbon footprint (Australia: 16.9 kg CO₂eq; EU: 9.9 kg CO₂eq) than in Australia. This is due to high carbon intensity electricity that is required to clean reusable anaesthesia equipment. The carbon footprint of general anaesthesia in Australia was less than the EU average (Australia: 8.4 kg CO₂eq; EU: 11.9 kg CO₂eq).

3.2. Waste

McGain (2021) reported on the outcome waste. The total waste of single-use equipment were:

- General anaesthesia: mean 996 g (IQR 873 to 1,033; min-max 725 to 1,392);
- Spinal anaesthesia: mean 997 g (IQR 934 to 1,076; min-max 885 to 1,184); and
- Combination anaesthesia: mean 1,237 g (IQR 1,100 to 1,285; min-max 1,009 to 1,678).

The majority of the waste was caused by total plastics: average for general anaesthesia 783 g (78%), spinal 729 g (73%), and combination 932 (75%).

3.3. Medicine residue in water, 3.4 Human toxicity, 3.5 Ozone depletion

Outcomes were not reported.

Level of evidence of the literature

The working group assessed the level of evidence of LCAs using GRADE and used the critical appraisal of LCAs (Drew, 2021) to provide an indication of the study quality. See module 'operatietechnieken' for more details. As the four included studies contained LCAs (Sherman, 2012; Thiel, 2018; Hu, 2021; McGain, 2021), the level of evidence started at grade *high*.

Sub-question 4.1 inhalation anaesthetics vs. intravenous anaesthetics

1.1. Climate Change

Two studies (Sherman, 2012; Thiel, 2018) reported on 'climate change'. The level of evidence of this outcome measure was downgraded with 3 levels to very low due to risk of bias (-2; sensitivity/uncertainty analyses were lacking, limitations inadequately critically appraised) and indirectness (-1; heterogeneity of interventions, limited representativeness of data).

1.2 Waste, 1.3. Medicine residue in water, 1.4 Human toxicity, 1.5 Ozone depletion

Outcomes were not reported thus could not be graded.

Sub-question 4.2 with vs. without use of Vapour Capture Technology

2.1. Climate Change

One study (Hu, 2021) reported on 'climate change'. The level of evidence of this outcome measure was downgraded with 3 levels to very low due to risk of bias (-2; missing system coverage, sensitivity/uncertainty analyses were lacking, limitations inadequately critically appraised) and indirectness (-1; limited representativeness since geographic and institutional diversity was lacking as data were only collected from one study).

2.2 Waste, 2.3. Medicine residue in water, 2.4 Human toxicity, 2.5 Ozone depletion

Outcomes were not reported, thus could not be graded.

Sub-question 4.3 (loco)regional anaesthesia and local anaesthesia vs. general anaesthesia

3.1. Climate Change

One study (McGain, 2021) reported on 'climate change'. The level of evidence of this outcome measure was downgraded with 3 levels to very low due to risk of bias (-2; limitations on functional unit, limited transparency on characterization) and indirectness (-1; limited representativeness as data were only collected from one centre including only 30 patients).

3.2. Waste

One study (McGain, 2021) reported on 'waste'. The level of evidence of this outcome measure was downgraded with 3 levels to very low due to risk of bias (-2; limitations on functional unit, limited transparency on characterization) and indirectness (-1; limited representativeness as data were only collected from one centre including only 30 patients).

3.3. Medicine residue in water, 3.4 Human toxicity, 3.5 Ozone depletion

Outcomes were not reported, thus could not be graded.

Zoeken en selecteren

A systematic review of the literature was performed to answer the following questions:

PICO1: *What is the effect on environmental sustainability of inhalation anaesthetics compared with the use of intravenous anaesthesia in patients undergoing surgery?*

P = Patients undergoing a surgical procedure under general anaesthesia

I = Inhalation anaesthetics

C = Intravenous anaesthetics

O = Climate change (CO₂ footprint/GWP), waste, medicine residue in water, human toxicity, ozone depletion

PICO2: *What is the effect on environmental sustainability of inhalation anaesthetics while using Vapour Capture Technology compared with the use of inhalation anaesthetics while not using Vapour Capture Technology in patients undergoing surgery?*

P = Patients undergoing a surgical procedure under anaesthesia

I = Inhalation anaesthetics with use of Vapour Capture Technology

C = Inhalation anaesthetics without use of Vapour Capture Technology

O = Climate change (CO₂ footprint/GWP), waste, medicine residue in water, human toxicity, ozone depletion

PICO3: *What is the effect on environmental sustainability of (loco)regional anaesthesia and local anaesthesia compared with the use of general anaesthesia in patients undergoing surgery?*

P = Patients undergoing a surgical procedure under anaesthesia

I = (loco)regional anaesthesia and local anaesthesia

C = General anaesthesia

O = Climate change (CO₂ footprint/GWP), waste, medicine residue in water, human toxicity, ozone depletion

Relevant outcome measures

Life cycle assessment (LCA) is a methodological tool used to quantitatively analyse the life cycle of products/activities within the context of environmental impact. The assessment comprises all stages needed to produce and use a product, from the initial development to the treatment of waste (the total life cycle). An LCA is mainly based on four phases: 1) goal and scope definition, 2) inventory analysis, 3) impact assessment, and 4) interpretation. The third phase is the life cycle impact assessment (LCIA), in which emissions and resource extractions are translated into a limited number of environmental impact scores by means of so-called characterisation factors. The ReCiPe model is a method for the impact assessment in an LCA (Huijbregts, 2016, Huijbregts, 2017). To determine the outcome measures regarding environmental impact, the ReCiPe model of the National Institute for Public Health and the Environment (in Dutch: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM) was used.

The outcomes determined by the working group are based on the ReCiPe model. The working group considered climate change (CO₂ footprint/Global Warming Potential) and waste as a *critical* outcome measure for decision making; and medicine residue in water, human toxicity and ozone depletion as an *important* outcome measure for decision making.

A priori, the working group did not define the outcome measures listed above but used the definitions used in the studies.

Outcomes focused on environmental life cycle assessment (LCA) impact categories are relatively new in healthcare. Given the variety in scopes and methods of performing and reporting LCAs, the working group did not define a priori the minimal important difference. Differences between the different types of anaesthesia were evaluated by the working group after data extraction.

A glossary including the outcome measures is found in module 'operatietechnieken'.

Search and select (Methods)

The databases Pubmed (via NCBI), Embase (via OVID), Web of Science (via Webofscience), Cochrane (via Cochrane library) and Emcare (via OVID) were searched with relevant search terms from 2000 until 22 February 2022. The detailed search strategy is depicted under the tab Methods. The systematic literature search resulted in 798 hits in total. Studies for this module were selected based on the following criteria:

- Systematic reviews (searched in at least two databases, with a detailed search strategy, risk of bias assessment and results of individual studies available), randomized controlled trials, (observational) comparative studies, life cycle assessments, CO₂ footprint studies and environmental impact studies;
- Full-text English language publication; and
- Studies according to the PICO. Studies that compared different types of anaesthesia related and included at least one of the following outcomes conform the PICO.

After reading the full text, four studies were included in the literature summary of this module.

Results

Four studies were included in the analysis of the literature. Two studies were allocated to sub question 4.1 (Sherman, 2012; Thiel, 2018), one study to sub question 4.2 (Hu, 2021), and one study to sub question 4.3 (McGain, 2021). Important study characteristics and results are summarized in the evidence table. The assessment of the life cycle assessment (LCA) studies is summarized in the quality appraisal table. Important study characteristics and results are summarized in Appendix 'Evidence table of LCAs'. The quality assessment of the studies is summarized in Appendix 'Critical appraisal of LCAs'.

Verantwoording

Laatst beoordeeld : 15-04-2025

Voor de volledige verantwoording, evidence tabellen en eventuele aanverwante producten raadpleegt u de Richtlijndatabase.

Referenties

Gupta Strategists, 2019. Een stuur voor de transitie naar duurzame gezondheidszorg. https://gupta-strategists.nl/storage/files/1920_Studie_Duurzame_Gezondheidszorg_DIGITAL_DEF.pdf.

Hinterberg J, Beffart T, Gabriel A, Holzschneider M, Tartler TM, Schaefer MS, Kienbaum P. Efficiency of inhaled anaesthetic recapture in clinical practice. Br J Anaesth. 2022 Oct;129(4):e79-e81. doi: 10.1016/j.bja.2022.04.009. Epub 2022 May 17.

PMID: 35589427.

Hu X, Pierce JMT, Taylor T, Morrissey K. The carbon footprint of general anaesthetics: A case study in the UK. Resources, Conservation and Recycling, Volume 167, 2021, 105411, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105411>.

McGain F, Sheridan N, Wickramarachchi K, Yates S, Chan B, McAlister S. Carbon Footprint of General, Regional, and Combined Anesthesia for Total Knee Replacements. Anesthesiology. 2021 Dec 1;135(6):976-991. doi: 10.1097/ALN.0000000000003967. PMID: 34529033.

NVA, 2021. NVA handreiking: Vergroening van het operatiecomplex. Geplaatst op 19-05-2021. Link:

<https://www.anesthesiologie.nl/documenten/13-adviezen-om-als-vakgroep-anesthesiologie-de-ok-te-vergroenen/>

NVA, 2023. NVA Nieuwsbericht: "NVA ontvangt half miljoen voor terugdringen CO2 uitstoot van anesthesiedampen".

Geplaatst op 20-12-2022. Link: <https://www.anesthesiologie.nl/nieuws/nva-ontvangt-half-miljoen-voor-terugdringen-co2-uitstoot-ok/>

NVA Leidraad, 2024. NVA Leidraad PerioperaCeve zorg 2024. Geplaatst op 23-05-2024. Link:

https://www.anesthesiologie.nl/uploads/files/NVA_Leidraad_Perioperatieve_zorg_V8.pdf

Sherman J, Le C, Lamers V, Eckelman M. Life cycle greenhouse gas emissions of anesthetic drugs. Anesth Analg. 2012 May;114(5):1086-90. doi: 10.1213/ANE.0b013e31824f6940. Epub 2012 Apr 4. PMID: 22492186.

Thiel CL, Woods NC, Bilec MM. Strategies to Reduce Greenhouse Gas Emissions from Laparoscopic Surgery. Am J Public Health. 2018 Apr;108(S2):S158-S164. doi: 10.2105/AJPH.2018.304397. PMID: 29698098; PMCID: PMC5922216.

Zhong G, Abbas A, Jones J, Kong S, McCulloch T. Environmental and economic impact of using increased fresh gas flow to reduce carbon dioxide absorbent consumption in the absence of inhalational anaesthetics. Br J Anaesth. 2020 Nov;125(5):773-778.

Luchtbehandeling

Uitgangsvraag

Hoe kunnen verschillende klassen luchtbehandeling en verschillende typen luchtbehandelingssystemen op een operatiecomplex op de meest duurzame manier worden ingezet?

Zie een schematisch overzicht van de module in '[Samenvatting](#)'.

Aanbeveling

Wees bewust dat klasse 1+ grotere (negatieve) impact heeft op het milieu dan klasse 1 en klasse 2. Dit wordt met name veroorzaakt door het hoge energieverbruik.

Inventariseer voor welke operatie indicatie welke klasse luchtbehandeling nodig is.

- Opereer op een operatiekamer met de juiste klasse luchtbehandeling geschikt voor het type operatie (R1-Refuse, R2-Reduce). Houd hiermee rekening bij de planning van operaties.
- Indien de operatie indicatie het toelaat, overweeg het gebruik van de zelfstandige behandelkamer.

Op instellingsniveau, ga na of de luchtbehandeling juist is ingesteld.

- Minimaliseer het gebruik van luchtbehandeling (R1-Refuse, R2-Reduce).
- Zorg voor sequentieel gebruik, zet aan waar nodig en zet uit waar kan. Denk hierbij aan het aantal luchtwisselingen/uur, luchtbevochtiging, de temperatuur en de relatieve vochtigheid (R2-Reduce).

Overwegingen

Voor- en nadelen van de interventie en de kwaliteit van het bewijs

Op basis van de beschikbare literatuur is gekeken naar de invloed van verschillende soorten luchtbehandeling en verschillende typen luchtbehandelingssystemen op duurzaamheidsaspecten. Middels twee zoekvragen is gezocht in de literatuur. Voor subvraag 5.1 (verschillende klassen luchtbehandeling) zijn geen studies gevonden. Voor subvraag 5.2 (verschillende typen luchtbehandelingssystemen) zijn twee studies gevonden (Alsved, 2018; Marsault, 2021). De uitkomstmaat 'climate change' is niet gerapporteerd. De bewijskracht voor de cruciale uitkomstmaat 'energy use' komt uit op zeer laag (risk of bias, indirectheid). Wegens de zeer lage bewijskracht kunnen er op basis van de literatuur geen harde conclusies geformuleerd worden. Echter, wijzen de resultaten van deze studies wel dezelfde richting op. Dit geeft inzicht in waar winst te behalen valt. Daarnaast heeft de werkgroep experts op het gebied van luchtbehandeling geraadpleegd voor adviezen over huidig energieverbruik en energievermindering. De werkgroep erkent de urgentie om de milieu-impact te verminderen en kiest voor sterke aanbevelingen op basis van de huidige beschikbare literatuur en expert opinion.

De 'hotspot' voor luchtbehandeling is de energie consumptie, hierin zit de grootste verbeterruimte. Er is geen LCA verricht om verdere impact categorieën of hotspots te identificeren. De uitkomsten van de studies en de expert opinie over luchtbehandeling wordt geëvalueerd middels de 'R-ladder (strategieën van

circulariteit)' (zie figuur 1, gebaseerd op Cramer, 2014; Hanemaaijer; 2018; Potting, 2016; Reike, 2018). Deze R-ladder laat zien dat de hoogste prioriteit om duurzaam te werken 'refuse' is, oftewel, niet gebruiken. Hoe lager het grondstofgebruik, des te hoger op de R-ladder en hoe dichter je bent bij circulair werken.



Figuur 1. Prioriteitsvolgorde circulariteit strategieën

Refuse (R1) en Reduce (R2)

Allereerst is het van belang te opereren op een operatiekamer met de juiste klasse luchtbehandeling geschikt voor het type operatie (R1-Refuse). Niet elke type operatie heeft een klasse 1+ of 1 nodig, maar kan bijvoorbeeld in een klasse 2 of zelfstandige behandelkamer plaatsvinden. Voor bepaalde operatie indicaties is veel duurzaamheidswinst te behalen om niet op een klasse 1+ OK te opereren. Zo kan er bijvoorbeeld onderscheid worden gemaakt tussen minimaal invasieve chirurgie (MIC), open chirurgie en implantaatchirurgie. Vanwege het lage infectierisico bij MIC is het te overwegen om op een OK klasse 2 te opereren. Het is al technisch mogelijk om op één operatiekamer verschillende klassen te gebruiken, echter is het logistiek gezien nog een uitdaging om tussen de operaties door te wisselen van klasse. De werkgroep adviseert dan ook om deze mogelijkheden verder te exploreren en uit te voeren.

Daarnaast zijn er nog andere mogelijkheden om de milieu-impact te verlagen. Marsault (2021) laat zien dat indien de hoeveelheid ingeblazen verse lucht wordt gehalveerd, de energieconsumptie ook nagenoeg halveert. Gebruik van een mengend systeem leidt dan ook tot minder energieverbruik, omdat de hoeveelheid ingeblazen lucht lager is. Indien een operatiekamer niet wordt gebruikt, is het onnodig om de luchtbehandeling te laten draaien met dezelfde intensiteit als wanneer een patiënt wordt geopereerd. Het is belangrijk dat ziekenhuizen inventariseren hoeveel acute operatiekamers operationeel moeten blijven. Indien een unidirectioneel systeem gedurende nachten en weekenden wordt uitgezet, kan dit 70% van het totale energieverbruik besparen (Traversari, 2017). Na 30 minuten opstarttijd kan de operatiekamer weer veilig worden gebruikt (Traversari, 2017; Dettenkofer, 2003).

Daarnaast moet onderzocht worden of het mogelijk is om de luchtbehandeling in een lage stand te zetten tijdens bepaalde operaties (R2-Reduce). Op basis van expert opinion vergt klasse 1+ de meeste energie en is klasse 2 het meest energiezuinig. Ook kan nagedacht worden over optimalisatie van het OK-programma, zodat operaties die een 1+ kamer nodig hebben achter elkaar gepland worden.

Voor een OK klasse 1+ is het temperatuurverschil een belangrijke parameter voor goed functioneren. Dit kost relatief veel energie en het uitzetten hiervan draagt bij aan vermindering van energie. De werkgroep acht het belangrijk dat de luchtbehandeling juist is ingesteld. Denk aan het juiste aantal luchtwisselingen/uur, de temperatuur en de relatieve vochtigheid. Het handhaven van temperatuur en relatieve vochtigheid als kritische parameter is niet meer aan de orde voor klasse 1 (NVMM, 2022). Dit kan in het kader van duurzaamheid dus worden verlaten. Daarnaast draaien ook opdek plenums vaak 24 uur per dag. Realiseer dat deze plenums alleen aan gaan bij gebruik. Ook de verlichting van de plenums kost energie en uitschakelen hiervan leidt dan ook tot energiewinst.

Meer over de juiste criteria per klasse is te vinden in de Richtlijn 'Luchtbehandeling in operatiekamers en behandelkamers' (NVMM, 2022).

Redesign (R3)

Ontwikkelaars van luchtbehandeling systemen zullen energiezuinige systemen moeten ontwikkelen (R3-Redesign). Daarnaast moet, zoals eerder benoemd, de luchtbehandeling aangepast worden aan het type operatie dat plaats gaat vinden. Het is hierbij van belang om in het proces aanpassingen te doen, zodat dit logistiek ook mogelijk wordt gemaakt. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het standaardiseren van het wisselen van OK-klasse in de time-out na de operatie en het zoveel mogelijk plannen van dezelfde type operaties op één dag en op één operatiekamer. De werkgroep adviseert om hier rekening mee te houden en te streven naar minimaal energieverbruik.

Re-use (R4)

Hergebruik is een lastige kwestie, gezien de meeste systemen lang mee gaan. Wanneer de systemen worden vervangen, zijn deze veelal niet meer geschikt voor hergebruik.

Repair (R5), Refurbish (R6), Remanufacture (R7)

Herstel van luchtbehandeling systemen, indien er iets kapot gaat, wordt in de praktijk al verricht.

Repurpose (R8), Recycling (R9), Recover (R10)

Wat betreft Repurpose (R8) is een herindeling naar een lager geclassificeerde ruimte mogelijk (NVMM, 2022). Momenteel is er nog geen tot weinig sprake van recycling en circulair verwerken betreffende luchtbehandeling (R9-Recycling). Bepaalde onderdelen worden wel gerecycled, al wordt dit met name door de lokale afvalverwerker van het ziekenhuis zo georganiseerd (bijv. de metalen rand rondom een luchtfilter wordt jaarlijks vervangen). Luchtbehandelingssystemen zijn vaak gedateerd voordat zij worden vervangen. Het vervoeren en vervolgens hergebruiken is een uitdaging.

Waarden en voorkeuren van patiënten (en evt. hun verzorgers)

Duurzamer werken rondom een operatie zal ook op de volksgezondheid een positief effect hebben. Patiëntveiligheid moet te alle tijden gewaarborgd worden als veranderingen plaatsvinden in de luchtbehandeling op de operatiekamer.

Kosten (middelenbeslag)

Op dit gebied zijn geen kosten-effectiviteitsstudies bekend bij de werkgroep. De werkgroep verwacht dat duurzamer werken m.b.t. luchtbehandeling, bijvoorbeeld bij verlaging van energieverbruik, zal resulteren in kostenbesparing. Indien wordt gekozen voor het hoogst haalbare op de ladder van circulariteit (R1-Refuse, R2-Reduce), kan de luchtbehandeling worden uitgezet of deels worden uitgezet/verlaagd. Het zal initieel een investering vragen van ziekenhuizen om over te stappen naar een luchtbehandelingssysteem dat aan- en uitgezet kan worden (of in standen kan wisselen), maar op lange termijn zal dit een positieve impact hebben op de volksgezondheid in algemene zin. Daarnaast gebruiken ziekenhuizen een groot deel van het energienetwerk in Nederland. Ziekenhuizen hebben een verantwoordelijkheid tegenover de burger dat dit netwerk niet onnodig wordt overbelast.

Aanvaardbaarheid, haalbaarheid en implementatie

Het is van belang dat patiëntveiligheid voorop blijft staan, maar er kan op een veilige manier energie bespaard worden op luchtbehandeling. De werkgroep vermoedt dat men bewust is van de invloed op energieverbruik van luchtbehandeling, maar dat nog te weinig acties worden ondernomen. Gewoonweg omdat het nog niet is geadresseerd in de dagelijkse routine van de ziekenhuizen. Om verbeteringen door te voeren is het van belang dat een deskundige infectiepreventie, de manager van de OK en het hoofd technische dienst met elkaar om de tafel gaan om de verduurzaming van het systeem te verkennen en aanpassingen door te voeren.

Rationale van de aanbeveling: weging van argumenten voor en tegen de interventies

Deze module is specifiek gericht op de rol van duurzaamheid bij het gebruik van verschillende klassen luchtbehandeling en verschillende typen luchtbehandelingssystemen op een operatiecomplex. Voor subvraag 5.1 (verschillende klassen luchtbehandeling) is geen literatuur gevonden. Voor subvraag 5.2 (verschillende typen luchtbehandelingssystemen) is de bewijskracht voor de cruciale uitkomstmaat 'energy use' zeer laag en werd geen data gevonden voor de uitkomstmaat 'climate change'. Overwegingen richten zich voornamelijk op R1-Refuse en R2-Reduce. De werkgroep acht het uiterst belangrijk om meer bewustwording op het gebied van duurzaamheid te creëren in de zorg en milieu-impact te verminderen. De werkgroep erkent de urgentie om de milieu-impact te verminderen en kiest, ondanks de zeer lage bewijskracht, voor sterke aanbevelingen op basis van de huidige beschikbare literatuur en expert opinion.

Onderbouwing

Achtergrond

Om het infectierisico bij een operatie of behandeling te verlagen wordt gebruik gemaakt van luchtbehandeling. Voor de luchtbehandeling van een operatiekamer zijn verschillende klassen en systemen beschikbaar. Operatiecomplexen in Nederland voldeden voorheen aan klasse 1 of klasse 2 luchtbehandeling, waarbij in klasse 1 onderscheid werd gemaakt tussen prestatieniveau 1 en prestatieniveau 2 (Richtlijn OK luchtbeheersing, WIP 2014). Recent wordt onderscheid gemaakt tussen operatiekamer klasse 1+, klasse 1 en klasse 2 (NVMM, 2022:). Daarnaast is het ook mogelijk om behandelingen te verrichten op een zelfstandige behandelkamer.

De twee meest toegepaste luchtinblaassystemen zijn: (1) een mengend luchtinblaassysteem of (2) een uni-directioneel of verdringend luchtinblaassysteem. Een mengend luchtinblaassysteem verdunt de contaminatie in de ruimte door het toevoegen van schone lucht aan de al bestaande lucht (menging met gefilterde schone lucht). Daarentegen wordt bij een uni-directioneel of verdringend luchtinblaassysteem de verontreiniging van lucht verminderd door middel van het 'verdringen' van de lucht uit het gebied en wordt het binnendringen van lucht uit de omgeving voorkomen. De lucht heeft dan ook een stroomrichting die turbulentie arm is ('unidirectional flow'). Voor meer informatie waaraan operatiekamers moeten voldoen, verwijst de werkgroep naar de richtlijn 'Luchtbehandeling in operatiekamers en behandelkamers' (NVMM, 2022).

Omdat het grootste energieverbruik op de operatiekamer kan worden toegewezen aan luchtbehandeling (MacNeill, 2017), valt hier naar verwachting duurzaamheidswinst te behalen. Echter is het momenteel onduidelijk wat de impact op duurzaamheid is als men een klasse 1 gebruikt in plaats van een klasse 2. Om de impact op duurzaamheid goed te kunnen evalueren, is de zoekvraag opgesplitst in twee deelvragen. Deze module richt zich specifiek op duurzaamheidsuitkomsten.

Conclusies / Summary of Findings

1. Climate change (critical)

- GRADE	Outcome measures 'climate change' was not reported. <i>Sources: -</i>
----------------	--

2. Energy use (critical)

Very low GRADE	The evidence is very uncertain about the effect on energy use when a mixed air handling system is compared to suppressing or semi-suppressing air handling system in surgical procedures. <i>Source: Alsved, 2018; Marsault, 2021</i>
-----------------------	--

Samenvatting literatuur

Description of studies

Alsved (2018) evaluated in a comparative study three types of ventilation systems for Operating Rooms (ORs) with respect to air cleanliness, energy consumption, and comfort of working environment as reported by surgical team members. Vertical laminar airflow (LAF) and turbulent mixed airflow (TMA) were compared with

temperature-controlled airflow (TAF). Colony-forming unit (cfu) concentrations were measured at three OR locations during 45 orthopaedic procedures: 1) close to the wound (<40 cm), 2) at the instrument table, and 3) peripherally in the room. The relevant outcome measure was energy use.

Marsault (2021) describes in a comparative study the comparison between laminar airflow (LAF) and turbulent airflow (TAF) during total hip arthroplasty surgery. Thirty-two mock-up operations were completed. Primary outcomes were comparison of particle counts, colony-forming unit (cfu), and energy use between LAF and TAF at 100% fresh air influx. Additionally, same parameters were evaluated but with different comparisons: LAF₁₀₀ vs. LAF₅₀, TAF₁₀₀ vs. TAF₅₀, LAF₅₀ vs. TAF₁₀₀. Measurements were taken at two ORs between October 2014 and January 2015 at two identical full-size operating theatres. One was equipped with a large, high volume LAF system and the other with TAF ventilation. Total 32 hip arthroplasty surgery-simulations were included. LAF uses 2 HEPA filters, airflow rate of fresh air is 2760 m³/h, and recirculated air is 7075 m³/h. TAF uses 1 HEPA filter and airflow rate is 2533 m³/h, which is all outside air. Outcome measure was energy use.

Results

1. Climate Change

No results.

2. Energy use

Both studies reported on energy use. Alsved (2018) defined energy use for ventilation power per type of airflow expressed in kW. For LAF, TAF, and TMA this resulted in 8.0 kW, 5.7 kW, and 2.8 kW, respectively. Thus, LAF had the greatest energy use. To reduce the energy use, airflow using a lower energy setting can be used. Alsved (2018) demonstrates that TAF is more energy efficient than LAF, and still provides high air cleanliness.

Marsault (2021) described that when reducing air influx from 100% to 50%, LAF energy use was reduced with 39.5% (from 1.85 kWh to 1.12 kWh). When reducing air influx from 100% to 50%, TAF energy use was reduced with 51% (from 1.54 kWh to 0.75 kWh).

Level of evidence of the literature

No studies were found for sub question 5.1, both studies were allocated to sub question 5.2.

The included studies are all comparative observational studies, the level of evidence starts at GRADE low.

1. Climate Change

Outcome was not reported, thus could not be graded.

2. Energy use

The level of evidence regarding the outcome measure 'energy use' was downgraded with 3 levels to *very low* due to risk of bias (-2; lack of adequate adjustment for confounders) and imprecision (-1; lacking information on data distribution, limited generalizability, use of dummy variables and surrogate endpoints).

Zoeken en selecteren

A systematic review of the literature was performed to answer the following questions:

PICO1: *What is the role of environmental sustainability outcomes regarding the different operating room ventilation systems (class 1: performance level 1, class 1: performance level 2, class 2) during surgical procedures?*

P = Surgical procedures

I = Air treatment class 1: performance level 1 or class 1: performance level 2

C = Air treatment class 2

O = Climate change (CO₂ footprint/Global Warming Potential), energy use

PICO2: *What is the role of environmental sustainability outcomes across the entire life cycle of the a mixed air handling system in comparison to suppressing semi-suppressing air handling system in surgical procedures?*

P = Surgical procedures

I = Mixed air handling system (e.g. inlet grilles)

C = Suppressing or semi-suppressing air handling system (e.g. unidirectional laminar downflow/plenum, opragon, halton)

O = Climate change (CO₂ footprint/Global Warming Potential), energy use

Relevant outcome measures

Life cycle assessment (LCA) is a methodological tool used to quantitatively analyse the life cycle of products/activities within the context of environmental impact. The assessment comprises all stages needed to produce and use a product, from the initial development to the treatment of waste (the total life cycle). An LCA is mainly based on four phases: 1) goal and scope definition, 2) inventory analysis, 3) impact assessment, and 4) interpretation. The third phase is the life cycle impact assessment (LCIA), in which emissions and resource extractions are translated into a limited number of environmental impact scores by means of so-called characterisation factors. The ReCiPe model is a method for the impact assessment in an LCA (Huijbregts, 2016, Huijbregts, 2017). To determine the outcome measures regarding environmental impact, the ReCiPe model of the National Institute for Public Health and the Environment (in Dutch: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM) was used.

The outcomes determined by the working group are based on the ReCiPe model. The working group considered climate change (CO₂ footprint/Global Warming Potential) and energy use both as *critical* outcome measures for decision making.

A priori, the working group did not define the outcome measures listed above but used the definitions used in the studies.

Outcomes focused on environmental life cycle assessment (LCA) impact categories are relatively new in healthcare. Given the variety in scopes and methods of performing and reporting LCAs, the working group did not define a priori the minimal important difference. Differences between the operating room ventilation and air handling systems were evaluated by the working group after data extraction.

A glossary including the outcome measures is found in module 'operatietechnieken'.

Search and select (Methods)

The databases Pubmed (via NCBI), Embase (via OVID), Web of Science (via Web of Science), Cochrane (via Cochrane library) and Emcare (via OVID) were searched with relevant search terms from 1980 until 10 May 2022. The detailed search strategy is depicted under the tab Methods. The systematic literature search resulted in 364 hits. Studies for this module were selected based on the following criteria:

- Systematic reviews in which searches were performed in at least two databases, with a detailed search strategy, risk of bias assessment and results of individual studies available, randomized controlled trials, (observational) comparative studies, Life Cycle Assessments;
- Full-text English or Dutch language publication; and
- Studies according to the PICO. The included studies that compared different air treatment systems and included at least one of the following outcomes: Climate change (CO₂ footprint/GWP) or energy use.

After reading the full text, two studies were included in the literature summary of this module.

Results

In total two studies were included in the analysis of the literature. No studies were found for sub question 5.1, but both studies were allocated to sub question 5.2. Important study characteristics and results are summarized in Appendix 1 'Evidence table'. The quality assessment of the studies is summarized in Appendix 2 'Risk of Bias'.

Verantwoording

Laatst beoordeeld : 08-01-2024

Voor de volledige verantwoording, evidence tabellen en eventuele aanverwante producten raadpleegt u de Richtlijnendatabase.

Referenties

Acero, 2015. Greendelta, LCIA methods: Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories. Version: 1.5.4. Date: 16 March 2015. Accessed at: <https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2015/11/LCIA-METHODS-v.1.5.4.pdf>

Alsved M, Civilis A, Ekolind P, Tammelin A, Andersson AE, Jakobsson J, Svensson T, Ramstorp M, Sadrizadeh S, Larsson PA, Bohgard M, antl-Temkiv T, Löndahl J. Temperature-controlled airflow ventilation in operating rooms compared with laminar airflow and turbulent mixed airflow. J Hosp Infect. 2018 Feb;98(2):181-190. doi: 10.1016/j.jhin.2017.10.013. Epub 2017 Oct 24. PMID: 29074054.

Dettenkofer M, Scherrer M, Hoch V, Glaser H, Schwarzer G, Zentner J, Daschner ED. Shutting down operating theater ventilation when the theater is not in use: infection control and environmental aspects. Infect Control Hosp Epidemiol. 2003 Aug;24(8):596-600. doi: 10.1086/502260. PMID: 12940581.

Marsault LV, Ravn C, Overgaard A, Frich LH, Olsen M, Anstensrud T, Nielsen J, Overgaard S. Laminar airflow versus turbulent airflow in simulated total hip arthroplasty: measurements of colony-forming units, particles, and energy consumption. J Hosp Infect. 2021 Sep;115:117-123. doi: 10.1016/j.jhin.2021.06.009. Epub 2021 Jun 25. PMID: 34182062.

MacNeill AJ, Lillywhite R, Brown CJ. The impact of surgery on global climate: a carbon footprinting study of operating theatres in three health systems. Lancet Planet Health. 2017 Dec;1(9):e381-e388.

NVMM, 2022; Richtlijn 'Luchtbehandeling in operatiekamers en behandelkamers'

Pasquarella C, Balocco C, Colucci ME, Sacconi E, Paroni S, Albertini L, Vitali P, Albertini R. The Influence of Surgical Staff Behavior on Air Quality in a Conventionally Ventilated Operating Theatre during a Simulated Arthroplasty: A Case Study at the University Hospital of Parma. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020; 17(2):452.

Traversari AA, Bottenheft C, van Heumen SP, Goedhart CA, Vos MC. Effect of switching off unidirectional downflow systems of operating theaters during prolonged inactivity on the period before the operating theater can safely be used. *Am J Infect Control*. 2017 Feb 1;45(2):139-144. doi: 10.1016/j.ajic.2016.07.019. Epub 2016 Oct 11. PMID: 27742147.