Earth, Life & Social Sciences
Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56

TNO-rapport

TNO 2014 R11303

Milieueffecten van verschillende uitvaarttechnieken – update van eerder TNO - onderzoek

Datum	18 september 2014
Auteur(s)	E.E. Keijzer, MSc H. ten Broeke, MSc Ir. A.M.M. Ansems
Aantal pagina's	104 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	5
Opdrachtgever	Yarden Holding BV Almere
Projectnaam	Milieueffecten verschillende uitvaartmogelijkheden
Projectnummer	060.08487

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2014 TNO

Samenvatting

Yarden is een grote en snel groeiende uitvaartorganisatie in Nederland, die uitvaartverzorging, verzekeringen en voorlichting aanbiedt. De organisatie telt bijna 1 miljoen leden. Met 41 uitvaartcentra, 22 crematoria en 7 begraafplaatsen heeft Yarden een nationale verspreiding en dekking. Met ca. 1000 medewerkers willigt men de persoonlijke wensen van de klant in.
Zo wil men ook duidelijk rekening houden met milieurandvoorwaarden en –wensen. In dat kader volgt Yarden de nieuwe ontwikkelingen en investeert hierin. Zo is Yarden voornemens om resomeren als nieuwe uitvaarttechniek te introduceren en aan te bieden. Met deze techniek wordt het lichaam opgelost in een sterk basische oplossing.

Vooralsnog voorziet de Nederlandse wet op de lijkbezorging in drie bestemmingen: Begraven, cremeren of ter beschikking stellen aan de wetenschap. Om een plaats te kunnen geven aan nieuw ontwikkelde technieken is een wetswijziging noodzakelijk. Voordat het tot een voorstel tot wijziging van de wet komt, zal het Ministerie van Binnenlandse Zaken willen beschikken over meer informatie met betrekking tot de nieuwe techniek.
Als eerste stap heeft Yarden aan TNO gevraagd om de milieu-impact van de drie uitvaarttechnieken (begraven, cremeren en resomeren) te inventariseren en te analyseren. Sociale en economische aspecten zijn in deze studie niet meegenomen. Dit resulteerde in het eerste rapport over de milieueffecten van verschillende uitvaarttechnieken (Keijzer & Kok, 2011). Yarden wil de eerder uitgevoerde LCA updaten met actuele, meer praktische informatie. Daarom is TNO gevraagd de desbetreffende LCA opnieuw uit te voeren met deze meer actuele data. Bovendien zal aan de toegepaste LCA methodiek de nieuwste inzichten worden toegevoegd. In dit rapport worden de resultaten van het geüpdatete onderzoek naar de milieueffecten van de drie uitvaarttechnieken gepresenteerd.

De voor het uitvoeren van de milieustudie benodigde gegevens zijn voor begraven en cremeren door de opdrachtgever verzameld en beschikbaar gesteld. Daarbij is uitgegaan van de gemiddelde situatie in Nederland en de huidige technologische stand van zaken. Voor de nieuwe techniek zijn de procesgegevens beschikbaar gesteld door Resomation Ltd. De nieuwe techniek is beschouwd alsof ze reeds volledig operationeel is en geïntegreerd in het Nederlandse uitvaartwezen.
Voor het opstellen van de milieuvergelijking is uitgegaan van het vaststellen van de milieueffecten van de gehele levenscyclus van de uitvoering van een uitvaarttechniek op basis van een Life Cycle Assessment (LCA) volgens de ReCiPe midpoint methodiek (H versie; v1.04). Volgens deze methodiek worden 18 milieueffectcategorieën beschouwd en de impact ervan berekend in equivalenten voor een voor die categorie belangrijke stof.
De milieu-impact is per uitvaarttechniek bepaald met behulp van de SimaPro Life Cycle Assessment software (versie 7.3.3) en met de database Ecoinvent (versie 2.2), waarin de milieueffectgegevens voor allerlei typen processen en materialen zijn opgenomen. Het berekende resultaat heeft voor iedere effectcategorie een andere eenheid, waardoor de verschillen tussen de uitvaarttechnieken in principe slechts per effectcategorie vergeleken kunnen worden.

De milieueffecten van de drie uitvaarttechnieken worden getoond in Tabel S1 per effectcategorie. Hoe hoger de cijfers zijn, des te groter is de milieubelasting.

Tabel S1 Milieueffecten van de drie uitvaarttechnieken, per overledene, berekend met de ReCiPe methode. De hoogste waarde per effectcategorie is gemarkeerd met rood, de laagste met groen. Wanneer de effecten minder dan 10% verschilden, is dit als niet significant beschouwd.

Effectcategorie	**Eenheid**	**Begraven (gemiddeld)**	**Cremeren (gemiddeld)**	**Resomeren**
Klimaatverandering	kg CO_2 eq	95	208	28
Aantasting ozonlaag	kg CFC-11 eq	9,5E-06	2,2E-05	1,0E-05
Humane toxiciteit	kg 1,4-DB eq	-1	-55	-104
Smogvorming	kg NMVOC	0,68	1,37	0,02
Fijnstofvorming	kg PM_{10} eq	0,26	0,36	-0,04
Ioniserende straling	kg U^{235} eq	16	13	18
Verzuring	kg SO_2 eq	0,7	0,9	-0,2
Vermesting (zoetwater)	kg P eq	0,17	0,19	0,06
Vermesting (zoutwater)	kg N eq	0,25	0,53	0,01
Terrestrische ecotoxiciteit	kg 1,4-DB eq	0,16	0,18	0,03
Zoetwater ecotoxiciteit	kg 1,4-DB eq	0,45	-0,12	-1,16
Zoutwater ecotoxiciteit	kg 1,4-DB eq	0,23	1,61	-1,15
Landgebruik (landbouw)	m^2a	67	67	7
Landgebruik (stedelijk)	m^2a	138	3	1
Landtransformatie (natuur)	m^2	0,03	0,04	0,00
Uitputting watervoorraden	m3	11	10	5
Uitputting mineralenvoorraden	kg Fe eq	5	5	-21
Uitputting fossiele grondstoffen	kg oil eq	26	67	10

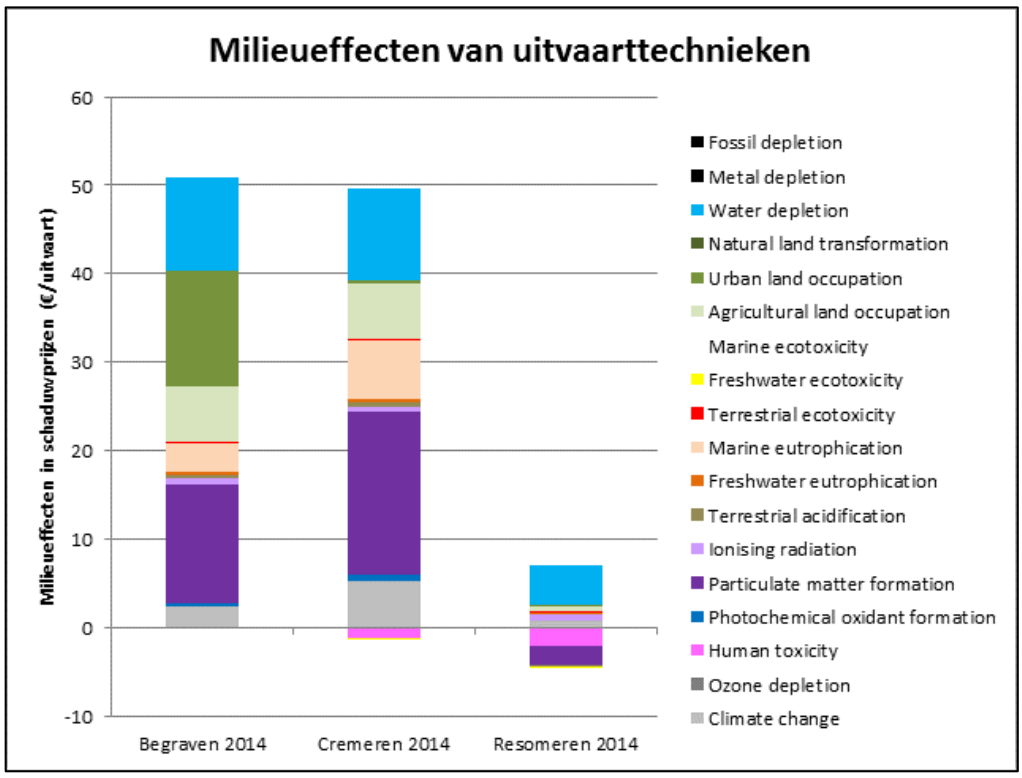
Uit de resultaten voor de drie verschillende uitvaarttechnieken blijkt dat:

- resomeren het minste milieueffect heeft voor alle effectcategorieën, met uitzondering van ioniserende straling;
- begraven en cremeren beide het grootste milieueffect hebben voor vier categorieën (landgebruik landbouw, landtransformatie en uitputting water- en mineralenvoorraden);
- cremeren het grootste milieueffect heeft voor de meeste (tien) effectcategorieën;
- begraven het grootste milieueffect heeft voor drie categorieën;
- voor één milieueffect heeft begraven de laagste waarde, tezamen met resomeren: aantasting ozonlaag;
- voor één milieueffect heeft cremeren de laagste waarde: ioniserende straling.

Deze resultaten scheppen de verwachting dat de totale milieu-impact van de verschillende uitvaarttechnieken het kleinst is voor resomeren. Uit deze analyses blijkt niet welke van de drie technieken de grootste milieu-impact heeft per uitvaart, omdat de achttien milieu-effectcategorieën verschillende eenheden hebben.

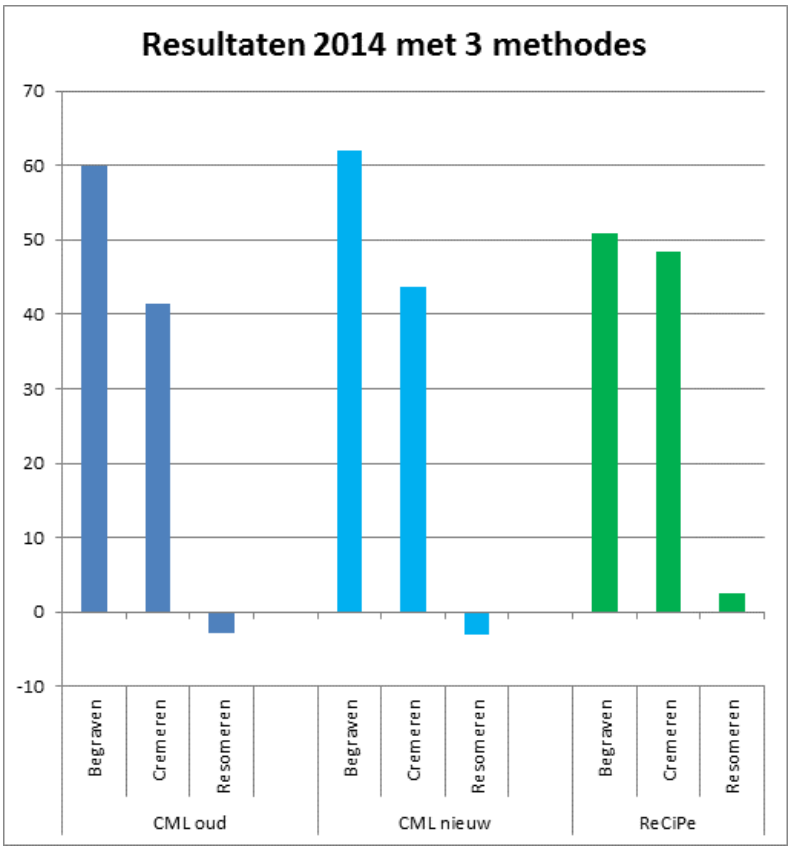
Om een meer kwantitatieve uitspraak over de totale milieu-impact van de drie uitvaarttechnieken te kunnen doen is gebruik gemaakt van de schaduwprijzenmethode. Hierbij worden de hoogst aanvaardbare kosten voor reductiemaatregelen als een waardering voor de milieueffecten gebruikt. Het voordeel van het gebruik van schaduwprijzen is dat verschillende milieueffecten worden vertaald in (externe) kosten.

Optellen van de schaduwkosten voor alle verschillende milieueffecten van een activiteit (product of dienst) tijdens zijn levensduur geeft de totale milieukosten van de activiteit (monetarisering van milieueffecten). Hier moet bij opgemerkt worden dat dit gedeelte van de studie buiten ISO 14040/14044 (ISO, 2006) valt, omdat de resultaten gewogen worden. Gewogen resultaten impliceren een subjectieve keuze, en kunnen altijd ter discussie gesteld worden. Omwille van de begrijpelijkheid van de resultaten zijn ze wel meegenomen in de bespreking van de resultaten.
Het resultaat van de berekeningen op basis van de schaduwprijzen is weergegeven in Figuur S1 voor de drie uitvaarttechnieken.



Figuur S1 Schaduwprijzen voor de bestaande uitvaarttechnieken begraven en cremeren en de nieuwe uitvaarttechniek resomeren.

In de voorgaande studie is gerekend met de CML-methode, welke in de tussentijd een update heeft ondergaan en een opvolger heeft gekregen. In Figuur S2 worden de nieuwe resultaten getoond met beide varianten van de CML-methode (“oud” en “nieuw”) en met de ReCiPe-methode, die het meest actueel is.



Figuur S2 Totaal milieueffect van de bestaande uitvaarttechnieken begraven en cremeren en de nieuwe uitvaarttechniek resomeren, uitgedrukt in schaduwprijzen. De milieueffecten zijn berekend met 3 verschillende methodes: de CML-methode zoals gebruikt in het oude onderzoek (Keijzer & Kok, 2011), de update van de CML-methode anno 2014 en de meest actuele methode, ReCiPe.

De resultaten, gepresenteerd in Figuur S2, maken duidelijk dat de totale milieu-impact (als schaduwprijs):

- van begraven het grootst is, gevolgd door cremeren, met beide varianten van de CML-methodes;
- van begraven en cremeren veel verschilt volgens de CML-methode (30%),
- van begraven en cremeren niet significant verschilt volgens de ReCiPe-methode (5%);
- van begraven en cremeren vele malen hoger is dan resomeren.

De meest opvallende conclusie is dat resomeren een veel lagere milieu-impact heeft dan begraven en cremeren. Dit werd ook in het voorgaande onderzoek geconcludeerd (Keijzer & Kok, 2011). Echter, het duidelijke verschil tussen begraven en cremeren, is in tegenstelling tot eerdere conclusies, niet significant wanneer geanalyseerd wordt met de ReCiPe-methode. Gezien de variaties en onzekerheden in bepaalde belangrijke parameters (bijvoorbeeld de exacte hoeveelheid gasgebruik en de grafrusttermijn), is het met de nieuwste resultaten niet met zekerheid te zeggen welke van beide de hoogste totaal milieu-impact heeft. Het is daarom belangrijk om ook te kijken naar de bijdragen van de verschillende milieueffecten.

Er zijn vier gevoeligheidsanalyses uitgevoerd: voor een algemeen onderwerp (recycling) en voor een onderwerp per uitvaarttechniek (grafrustperiode, aardgasverbruik en afvalwaterbehandeling).

Alle gevoeligheidsanalyses toonden aan dat resomeren de laagste milieu-impact heeft van de drie technieken, zelfs als de vermestingseffecten van de afvalwaterbehandeling groter zouden zijn dan ze nu lijken. De verschillen tussen begraven en cremeren zijn echter gevoelig voor individuele variatie; zo zal een inefficiënte crematie (met veel gasverbruik) een hogere milieu-impact hebben dan een begrafenis met een algemeen graf (met een kortdurende grafrusttermijn).

Deze studie toont aan dat de nieuwe techniek, resomeren, een lagere milieu-impact heeft dan de conventionele technieken. Dit sluit aan bij de conclusies van het vorige onderzoek (Keijzer & Kok, 2011). De update van de gegevens en de methode heeft ertoe geleid dat het onderscheid tussen begraven en cremeren minder groot is geworden; in bepaalde gevallen zal de milieu-impact van begraven zelfs lager zijn dan die van cremeren, in tegenstelling tot de eerder getrokken conclusies. Dit is afhankelijk van variaties van parameters/aspecten van beide technieken.

De ethische aspecten van het toepassen van de verschillende uitvaarttechnieken zijn niet bij deze studie betrokken.

Inhoudsopgave

Samenvatting **2**

1 Inleiding **8**

2 Doel en reikwijdte **10**
2.1 Doel 10
2.2 Reikwijdte 10
2.3 Review 16

3 Methode **17**
3.1 Life Cycle Assessment als basis om milieueffecten te vergelijken 17
3.2 Milieu-impact op basis van schaduwprijzen 19

4 Systeembeschrijving **21**
4.1 Algemene systeemkenmerken 21
4.2 Begraven 25
4.3 Cremeren 28
4.4 Resomeren 31

5 Resultaten **35**
5.1 Milieueffecten van de drie uitvaarttechnieken 35
5.2 Gevoeligheidsanalyses 46
5.3 Overige gevoeligheden 55

6 Conclusies **60**

7 Ondertekening **63**

8 Referenties **64**

Bijlage(n)
A Reviewrapport
B Milieueffectcategorieën
C Schaduwprijzen
D Specifieke inputgegevens voor de LCA-berekeningen
E Resultaten uitgedrukt in schaduwprijzen

1 Inleiding

Yarden is een grote en snel groeiende uitvaartorganisatie in Nederland, die uitvaartverzorging, verzekeringen en voorlichting aanbiedt. De organisatie telt bijna 1 miljoen leden. Met 41 uitvaartcentra, 22 crematoria en 7 begraafplaatsen heeft Yarden een nationale verspreiding en dekking. Yarden wil rekening houden met milieuvraagstukken en –wensen en daarom volgt Yarden nieuwe ontwikkelingen en investeert in deze ontwikkelingen. Yarden is van plan om resomeren als nieuwe uitvaarttechniek te introduceren. Bij deze techniek wordt het lichaam opgelost in een sterk basische vloeistof, waarna een zacht poeder overblijft van ongeveer een derde van het oorspronkelijke lichaamsgewicht.

De Nederlandse Wet op de Lijkbezorging staat drie wijzen van lijkbezorging toe; begraven, cremeren of ter beschikking stellen aan de wetenschap. Bij begraven wordt het lichaam geborgen onder de grond, waarna gedurende een lange periode (>10 jaar) langzame vertering optreedt. Bij cremeren wordt het lichaam verbrand in een oven, waarna enkele kilo's as overblijven die verstrooid of bewaard kunnen worden. Ter beschikking stelling aan de wetenschap vindt op zeer kleine schaal plaats, en betekent dat de resten van het lichaam, na wetenschappelijk onderzoek, uiteindelijk alsnog begraven of verbrand kunnen worden.
Om toepassing van de nieuwe techniek mogelijk te maken is een wetswijziging vereist. Voordat het tot een voorstel tot wijziging van de wet komt, zal het Ministerie van Binnenlandse Zaken willen beschikken over meer informatie met betrekking tot de nieuwe techniek.
Als eerste stap heeft Yarden aan TNO gevraagd om de milieu-impact van de drie uitvaarttechnieken (begraven, cremeren en resomeren) te inventariseren en te analyseren. Sociale en economische aspecten zijn in deze studie niet meegenomen. Dit resulteerde in het eerste rapport over de milieueffecten van verschillende uitvaarttechnieken (Keijzer & Kok, 2011).

De toenmalige milieukundige analyse en evaluatie was vooral gebaseerd op cijfers van installatiebouwers en ontwikkelaars (voor cryomeren en resomeren). Deze cijfers hadden betrekking op theoretische data, data van een demo-installatie en daar waar niet anders mogelijk gefundeerde aannamen. Inmiddels draaien er in de USA drie resomation units, waarin tot op heden ruim 1000 overledenen zijn geresomeerd (Resomation Ltd., 2014). Dit betekent dat er nu in de praktijk data beschikbaar zijn van praktisch werkende resomation installaties. Yarden wil de eerder uitgevoerde LCA updaten met actuele, meer praktische informatie. Daarom is TNO gevraagd de desbetreffende LCA opnieuw uit te voeren met deze meer actuele data. Bovendien zal aan de toegepaste LCA methodiek de nieuwste inzichten worden toegevoegd. Dit speelt mede een rol bij de review van deze nieuw uit te voeren LCA. In dit rapport worden de resultaten van het geactualiseerde onderzoek naar de milieueffecten van de drie uitvaarttechnieken gepresenteerd.

Hoofdstuk 2 geeft het exacte doel en de specifieke reikwijdte van dit onderzoek weer.
In hoofdstuk 3 wordt de gebruikte methode voor het bepalen van de milieu-impact toegelicht. Deze methode is gebaseerd op het bepalen van de milieueffecten over de gehele levenscyclus van de uitvoering van een uitvaarttechniek door middel van een Life Cycle Assessment (LCA) volgens de CML 2001- en ReCiPe-methodiek.

Hoofdstuk 4 beschrijft de activiteiten gedurende de levenscyclus van de uitvaarttechnieken. Daarnaast wordt in hoofdstuk 4 aangegeven waar de gebruikte gegevens vandaan komen en wat de belangrijkste aannames zijn.
In hoofdstuk 5 worden de resultaten van de berekeningen gepresenteerd, geanalyseerd en geëvalueerd. De milieueffecten worden vergeleken per milieueffectcategorie. Om de totale milieu-impact van de verschillende uitvaarttechnieken te vergelijken wordt de schaduwprijzenmethode gebruikt, maar dit valt buiten het ISO-genormeerde gedeelte van het rapport, omdat daarin weging expliciet niet toegestaan is.
In hoofdstuk 6 worden de conclusies over de vergelijking van de milieueffecten van de drie verschillende uitvaarttechnieken vermeld.

2 Doel en reikwijdte

2.1 Doel

Het doel van deze studie is om drie verschillende uitvaarttechnieken te vergelijken wat betreft hun milieueffecten in alle fases van de uitvoering van deze techniek. De opdrachtgever wil de resultaten van deze vergelijking gebruiken om de mogelijkheden te onderzoeken een nieuwe uitvaarttechniek te introduceren in Nederland. Nieuwe praktijkervaringen met een van de technieken, resomeren, is reden om eerder onderzoek te voorzien van een update. Deze gelegenheid wordt tevens gebruikt om de gegevens van de andere uitvaarttechnieken te herzien.
Dit rapport is primair bedoeld voor de opdrachtgever. De opdrachtgever is van plan om het rapport in te zetten ter ondersteuning van een wetswijzigingsvoorstel, als de resultaten daarvoor geschikt zijn. Het is mogelijk dat de opdrachtgever de resultaten in de openbaarheid brengt, door publicatie van het rapport op de website van de opdrachtgever of door het rapport mee te zenden met een persbericht.
De uitkomsten van dit onderzoek worden daarom gepresenteerd in een vorm die leesbaar is voor zowel expert als leek.

2.2 Reikwijdte

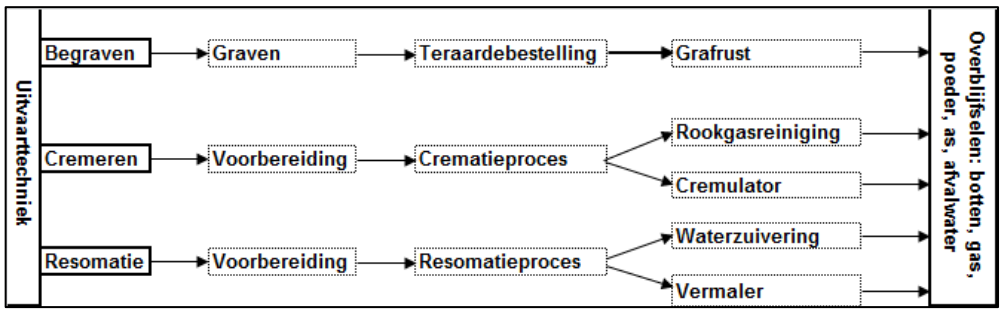
Functionele eenheid
Om de technieken op een gelijkwaardige manier met elkaar te kunnen vergelijken, is het noodzakelijk, dat zij allen onder dezelfde noemer worden gebracht. Dit gebeurt door de zogenaamde functionele eenheid te definiëren, die de door de technieken te vervullen functie op een eenduidige kwantitatieve wijze beschrijft. De functionele eenheid in dit onderzoek is:

“het verwerken van het stoffelijk overschot van 1 gemiddelde overledene in Nederland”.

De term “gemiddelde overledene” betekent dat voor alle variabelen gemiddelde waarden zijn genomen. Denk hierbij aan lichaamsgewicht, benodigde kistgrootte, aantal protheses, tandvullingen, enzovoorts. De exacte samenstelling van dit gemiddelde is opgenomen in Bijlage D. In paragraaf 4.1 wordt dit nader toegelicht.

Productsysteem
In deze studie is onderscheid gemaakt tussen de activiteiten vanaf het moment dat een persoon overlijdt tot en met de afscheidsceremonie (voorbereidend deel) en de verschillende uitvaarttechnieken (uitvoerende deel). Dit onderzoek richt zich op de milieueffecten van het uitvoerende deel; de voorbereidende activiteiten zijn niet meegenomen in deze studie.
De uitvaarttechnieken die vergeleken worden zijn: begraven, cremeren en resomeren. Figuur 1 toont een schets van de voornaamste processtappen in de levenscyclus van deze technieken. De belangrijkste processtappen bij begraven zijn het graven van het graf, het laten zakken van de kist in het graf, het sluiten van het graf, de daaropvolgende periode van grafrust en vertering, gevolgd door een uiteindelijke grafruiming. Uiteindelijk komen de overgebleven resten in een verzamelgraf terecht. Bij cremeren is het voornaamste proces de verbranding van de kist in de oven, gevolgd door reiniging van de resten, het rookgas en de asresten, gevolgd door uitstoten van het gereinigde gas in de lucht en verspreiding van de as door middel van bijvoorbeeld verstrooiing.

De techniek resomeren lijkt op cremeren, echter bij resomeren wordt het lichaam niet verbrand in een oven maar behandeld in een machine met een oplossing van kaliloog (KOH) en warm water. Na de resomatie wordt het water geloosd op het riool en worden de overgebleven resten vermalen tot een poeder. Het poeder kan uiteindelijk net als crematieas bijvoorbeeld verstrooid worden. Hoe de systemen van deze technieken er in meer detail uit zien, staat beschreven in hoofdstuk 4.

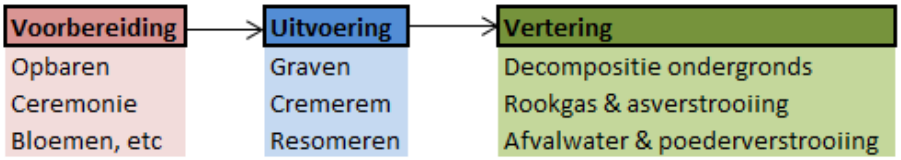


Figuur 1 Systeemschets met de voornaamste processtappen in de levenscyclus van de drie uitvaarttechnieken.

In alle gevallen is gekeken naar de uitvaart van een *gemiddeld* overleden persoon in Nederland. De huidige gemiddelde situatie is daarbij als uitgangspunt genomen. Bijzondere materialen of processen, zoals kisten van speciale materialen of extreem zuinige crematieovens, zijn dus expliciet niet meegenomen.

Systeemgrenzen
Het systeem wordt zo algemeen mogelijk bekeken, omdat het doel is de uitvaarttechnieken onderling te vergelijken; het is niet het doel de variatie binnen de uitvaarttechnieken te bekijken. Daarom worden extreme variaties niet meegenomen, maar alleen de meest gebruikelijke opties binnen iedere uitvaarttechniek. Grote variaties worden benoemd en meegenomen in de gevoeligheidsanalyses.

In hoofdstuk 4 en bijlage D wordt in detail aangegeven waar de systeemgrenzen liggen wat betreft beschouwde levensfase, processen, input en outputs. In het kort gezegd, beschouwt dit onderzoek alleen het uitvaartproces dat de overledene ondergaat, en niet de activiteiten van de nabestaanden die daar aan voorafgaan. Het onderscheid tussen voorbereidende en uitvoerende processen is schematisch weergegeven in Figuur 2 met respectievelijk rood en blauw. De verteringsfase, welke in groen wordt weergegeven, is een direct gevolg van de gekozen uitvoering en wordt daarom ook meegenomen in deze studie.



Figuur 2 Schematische weergave van de drie fases van de lijkbezorging: voorbereiding, uitvoering en vertering.

Niet meegenomen worden dus bijvoorbeeld het (gekoeld) opbaren, de afscheidsceremonie, het vervoer van gasten, etcetera. Wel meegenomen worden alle processen en materialen die nodig zijn voor de behandeling van de overledene. Bij een crematie zijn dat bijvoorbeeld de kist, het verwarmen van de oven, het transport van as naar een asverstrooiingsplek, het recyclen van metalen uit de resten, et cetera. De ruimte waar de crematie of resomatie plaatsvindt wordt ook niet meegenomen, omdat het grootste ruimtebeslag vaak de ruimte van de afscheidsceremonie is (en niet die waar de feitelijke processen worden uitgevoerd) en de grootte van die ruimte is voor iedere uitvaart, dus voor alle onderzochte technieken, waarschijnlijk ongeveer hetzelfde.

Bij metalen is het qua systeemgrens van belang onderscheid te maken tussen de processen die plaatsvinden in het leven van de overledene en de processen speciaal voor de uitvaart. De productie van kunstgebitten en protheses valt bijvoorbeeld buiten de reikwijdte van dit onderzoek, omdat ze niet speciaal voor de uitvaart plaatsvinden. Het recyclen van deze materialen valt daarentegen binnen de systeemgrenzen, omdat ze een van de outputs van het uitvaartproces zijn.

De processen van cremeren en resomeren zijn als systeem goed vergelijkbaar, omdat het in beide gevallen in essentie gaat om stromen die een installatie in gaan, waarin bepaalde processen plaatsvinden en vervolgens uitgaande stromen. Er is een aantal factoren die in beide processen een belangrijke rol spelen, zoals energiegebruik en bodemvervuiling door asverstrooiing. Begraven is echter een heel ander proces: er zijn meer voorafgaande stappen (beschreven in Hoofdstuk 4) en er zijn andere belangrijke factoren, zoals het langdurige landgebruik. Om toch een goede vergelijking te kunnen maken, is ervoor gekozen om een zo breed mogelijke systeemanalyse te doen en alle deelprocessen, waar relevant, tot in detail mee te nemen.

De systeemafbakening volgt een zogeheten derde orde benadering, wat wil zeggen dat niet alleen materialen (1^{e} orde) en processen (2^{e} orde) worden meegenomen in de milieueffectberekening, maar ook kapitaalgoederen (zie ook (Goedkoop, Schryver, & Oele, 2008)). De gebruikte achtergronddatabase ecoinvent v2 (Frischknecht, et al., 2007) sluit hierop aan. In praktijk betekent het toepassen van deze benadering dat alle benodigde materialen en processen die enige rol speelden, zijn betrokken bij dit onderzoek; dus ook het materiaal dat nodig is voor de resomator en het land dat ingenomen wordt door het verzamelgraf.

Allocatieprocedures

Een bepalende activiteit bij het maken van een milieuvergelijking met behulp van LCA is allocatie. Allocatie is het toerekenen van inputs en outputs aan een bepaald proces.

Omdat productieprocessen meerdere producten kunnen leveren, moet er een keuze worden gemaakt hoe de milieubelasting die dat proces met zich meebrengt wordt toegekend aan de verschillende producten. In veel processen in de achtergronddatabase is allocatie reeds doorgevoerd. Een aantal specifieke en een algemeen geval verdienen hier nog een toelichting. De specifieke allocaties (bijvoorbeeld hoe landgebruik wordt toegekend aan meerdere personen die in een graf liggen) zijn meestal opgelost door gemiddelde waardes te hanteren (dus landgebruik per persoon = grafoppervlakte gedeeld door het aantal personen dat er in ligt). Dergelijke allocatiekeuzes staan toegelicht in Bijlage D.
Een algemener geval is de allocatieprocedure bij recycling. Bij het onderzoeken van de milieueffecten van uitvaarttechnieken speelt onder andere de recycling van metalen (zoals handgrepen van de kist, maar ook chirurgische metalen) een grote rol. Er zijn meerdere mogelijkheden om recycling mee te nemen in LCA's. In dit geval is er voor gekozen om een milieuvoordeel toe te kennen aan het 'in de keten houden' van metalen. Dat is gedaan door voor een deel van de hoeveelheid metaal dat gerecycled wordt, de milieubelasting van de productie van het metaal in mindering te brengen. De volgende gebruiker van het gerecyclede materiaal hoeft, zo is de aanname, minder primair materiaal in te kopen. Deze compensatie geldt alleen voor zover het metaal dat gerecycled wordt, oorspronkelijk uit primair materiaal is gemaakt. De secundaire fractie van de gebruikte metalen is bekend (zie Bijlage D). De milieubelasting van de recycling van een kilogram metaal, is dan als volgt berekend:

*Totale milieuscore = (1 – secundaire fractie) * (milieubelasting recyclingproces – efficiency*milieubelasting primair productieproces)*

Bovenop de secundaire fractie is een recyclingefficiëntie van 90% verondersteld, omdat zelden al het materiaal gerecycled kan worden. Aan de recycling van 1 kilogram metaal is daarnaast nog de milieubelasting om het metaal in te zamelen toegekend.

Het voordeel van het bestempelen van gerecyclede metalen als vermeden producten, is dat er een milieuvoordeel wordt toegekend aan het recyclen van metalen.
Het positieve effect van de recyclingstap is hiermee heel duidelijk tot uitdrukking gebracht, hetgeen ook gewenst is voor een dergelijke prominente stap in het systeem. Met andere methodes (bijv. een "korting" geven op de metaalproducten aan de inputzijde) verdwijnen de recyclingeffecten makkelijker in de ruis van de andere resultaten, en is het recyclingeffect slecht zichtbaar.

Life cycle impact assessment methode en interpretatie
In de voorgaande studie (Keijzer & Kok, 2011) is de CML 2001-methode (Guinée, et al., 2001) gebruikt als impact assessment methode. Omdat deze nieuwe studie een grootschalige update van de oude analyses betreft, is ook gekozen voor een meer actuele en state-of-the-art impact assessment methode: de ReCiPe Midpoint H/A methode, versie 1.04 (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Struijs, & Zelm, 2009). Deze methode wordt verder toegelicht in het volgende hoofdstuk en in Bijlage B. De consequenties van deze methode-verandering, oftewel de verschillen tussen de resultaten zoals berekend met de CML 2001-methode en met de ReCiPe-methode, zullen onderwerp zijn van een gevoeligheidsanalyse.

Naast een interpretatie van de methode per effectcategorie, zullen de resultaten tevens worden geïnterpreteerd aan de hand van de schaduwprijzenmethode, welke eveneens wordt toegelicht in het volgende hoofdstuk en in Bijlage C. De schaduwprijzenmethode is een vorm van weging, hetgeen niet in lijn is met de ISO-normen. Dit gedeelte van de resultaten is dankzij de weging sneller te interpreteren voor de niet-milieukundige lezer, maar is eveneens dankzij de weging minder betrouwbaar. Dit zal nog verder worden toegelicht in de beschrijving van de methode.

Data-eisen

De procesgegevens van de drie uitvaarttechnieken (de “voorgronddata”) zijn grotendeels afkomstig uit de praktijk, oftewel van bedrijven. Dit heeft de voorkeur boven literatuurdata, omdat er weinig literatuurgegevens zijn voor dit onderwerp, en deze vaak achterhaald zijn. Omdat dit onderzoek zich richt op een gemiddelde situatie, zijn voorgronddata uit de praktijk geschikt ter onderbouwing. De literatuur kan echter gebruikt worden als check op de kwaliteit en representativiteit van de aangeleverde data. De specifieke aannames worden gepresenteerd in Bijlage D, de onderliggende systeemkeuzes zijn te vinden in hoofdstuk 4.

Voor de “achtergronddata”, oftewel de algemene informatie over electriciteitsmix, gaswinning, en dergelijke, is gebruik gemaakt van de internationaal geaccepteerde ecoinvent-database v2 (Frischknecht, et al., 2007). Er wordt geen gebruik gemaakt van de nieuwe versie van deze database (v3), om continuïteit en vergelijkbaarheid met de voorgaande studie te behouden.

Datakwaliteitseisen

De benodigde kwaliteit van de gegevens betreft de volgende aspecten:

a) Tijdgerelateerde dekking. Dit onderzoek richt zich op de huidige situatie, het referentiejaar is omstreeks 2014. Het is echter mogelijk, omdat data en onderzoek op dit gebied schaars is, zodat oudere bronnen geraadpleegd moeten worden bij gebrek aan beter. De meest complete en (nog steeds) vaakst geciteerde bron over de samenstelling van het menselijk lichaam is bijvoorbeeld een boek uit 1987 (Forbes, 1987).
b) Geografische dekking. Dit onderzoek richt zich op de Nederlandse situatie. Voor veel achtergrondgegevens zijn geen specifieke Nederlandse gegevens beschikbaar. In dat geval zijn West-Europese gebruikt. Speciale aandacht gaat echter uit naar de emissies van crematoria (die specifiek zijn voor Nederland ten gevolge van normen en filters).
c) Technologische dekking. Deze studie is uitgevoerd alsof de drie uitvaarttechnieken op eenzelfde punt in hun ontwikkeling staan, namelijk zoals de huidige technieken er nu voorstaan (begraven en cremeren). Dat betekent dat begraven en cremeren beschouwd worden zoals de huidige stand van zaken van de technologie is (anno 2014). De nieuwe techniek wordt beschouwd alsof ze reeds volledig operationeel is en geïntegreerd in het Nederlandse uitvaartwezen. Op deze manier worden alle drie de technieken zoveel mogelijk naar één niveau getrokken. Hierbij wordt voor de helderheid de mogelijke verdere ontwikkeling van elk van de drie technieken buiten beschouwing gelaten. Complicerend daarbij is dat de voorgronddata voor de nieuwe techniek nog in een vroeg ontwikkelstadium en niet even ver geoptimaliseerd zijn als die van de andere technieken.

Daarnaast zijn de data aangeleverd door slechts één bedrijf en tevens het enige bedrijf dat deze techniek ontwikkeld heeft, terwijl de data van begraven en cremeren door meerdere betrokken partijen geleverd en gecontroleerd zijn. Deze complicaties zorgen voor zowel over- als onderschattingen van het eindresultaat, wat betekent dat er extra rekening gehouden moet worden met een foutmarge bij het analyseren van de resultaten. Wat verder speelt bij de technologische dekking, is dat voor de twee bestaande technieken uitgegaan is van de gemiddelde Nederlandse situatie. Voor de technieken begraven en cremeren zal een bandbreedte aanwezig zijn voor de werkelijke milieubelasting. In deze studie is de bandbreedte niet onderzocht. Het is mogelijk dat de rangorde in milieubelasting van de drie technieken anders is wanneer, in plaats van het gemiddelde, de 'best practice' voor begraven of cremeren als uitgangspunt wordt genomen.

d) Precisie (variatie). Uitgangspunt is een zo algemeen, gemiddeld mogelijke situatie, om een eenduidig beeld zonder al teveel ruis te kunnen geven. De huidige situatie is hierbij het referentiepunt, maar zoals in punt c) ook al uitgelegd is, is dat lastig in de praktijk te brengen en is vooral variatie op temporele schaal onvermijdelijk.
e) Compleetheid. Er wordt geen drempelpercentage gehanteerd op basis waarvan bepaalde stromen wel of niet meegenomen worden; dit wordt per geval bekeken op basis van de verwachte bijdrage aan de milieubelasting. Als een stroom klein en lastig te kwantificeren is, en geen grote rol lijkt te spelen in de uitkomsten, is deze niet meegenomen, zoals bijvoorbeeld de urn van glas (zou slechts een klein percentage vormen van alle urntypes). Een geval dat daarentegen wel meegenomen moet worden omdat het een grote rol speelt in de milieueffectscore, zijn de kwikemissies van crematoria.
f) Representativiteit. De gebruikte data sluiten aan bij het doel en de reikwijdte van het onderzoek.
g) Consistentie. Waar mogelijk wordt zoveel mogelijk getracht uniformiteit van de verschillende onderdelen van het onderzoek te waarborgen. Door verschil in maturiteit tussen de drie technologieën is dit echter niet altijd mogelijk, zoals reeds uitgelegd bij c).
h) Reproduceerbaarheid. Dit rapport biedt alle benodigde informatie over de gebruikte gegevens en gedane acties om inzicht te hebben wat er onderzocht is en hoe. Voor het reproduceren van dit onderzoek moet echter contact opgenomen worden met TNO, omdat er twee modellen[1] gebruikt zijn die niet in dit rapport opgenomen konden worden. Daarnaast zijn, omwille van de leesbaarheid en begrijpelijkheid van dit rapport, de specifieke inputgegevens in de gebruikte database vervangen door meer algemene termen. Dat kan tot lichte verschuivingen van de resultaten leiden bij reproductie.
i) Databronnen. De voorgronddata zijn afkomstig uit de praktijk, dat wil zeggen, van bedrijven in de uitvaartbranche. De aangeleverde data zijn door TNO gecontroleerd voor zover mogelijk en indien nodig aangevuld met achtergronddata uit de literatuur en van TNO-experts.
j) Onzekerheid van de informatie. Waar mogelijk zijn data vergeleken en gecontroleerd. Onzekerheden zijn in Hoofdstuk 5, 6 en Bijlage D steeds duidelijk aangegeven.

[1] Het eerste is een afvalmodel naar Eggels & van der Ven, dat gemodificeerd is en gebruikt om de emissies naar bodem en water te schatten als gevolg van begraven van een kist en asverstrooiing boven land. Het tweede is het waste water treatment model van Ecoinvent, dat gebruikt is om de behandeling van het afvalwater bij resomeren te modelleren. Zie ook Bijlage C.

Significatie
Bij het analyseren van de resultaten is het de vraag wanneer verschillen als significant bestempeld worden, en wanneer niet. Voor de vergelijking van de bestaande technieken, cremeren en begraven, waarvan de berekeningen gebaseerd zijn op diverse bronnen, kan een significantiemarge verondersteld worden van 10%. Met betrekking tot resomeren, welke nog amper in gebruik is en over beperkte databronnen beschikt, kan beter een significantiemarge van 20% gehanteerd worden.

2.3 Review

Voordat dit rapport in de openbaarheid gebracht wordt, is het gecontroleerd op de methodes, data, aannames, interpretaties, onderbouwingen en algehele transparantie en consistentie, conform ISO-norm 14040 en 14044 (ISO, 2006). Hierbij moet vermeld worden dat het gedeelte van het rapport waarin gewogen resultaten gepresenteerd worden, niet in lijn is met de ISO-normen. Weging impliceert immers subjectieve keuzes en maakt de resultaten daarmee minder betrouwbaar. De reviewers hebben dit gedeelte van het rapport wel bekeken en van enig commentaar voorzien, maar dit gedeelte valt dus buiten de ISO-normering. De review is uitgevoerd door An Vercalsteren en Katrien Boonen van VITO. Het rapport van de reviewers is te vinden in Bijlage A.

3 Methode

3.1 Life Cycle Assessment als basis om milieueffecten te vergelijken

De milieueffecten van de verschillende uitvaarttechnieken zijn in kaart gebracht aan de hand van Life Cycle Assessments (LCA's). Een LCA is een analyse van alle relevante milieueffecten gedurende de volledige levenscyclus van een product of een dienst, van de winning van de ruwe materialen tot en met de verwijdering na gebruik. Deze methode is beschreven in de ISO 14040 en ISO 14044 normen (ISO, 2006). De uitgevoerde studie voldoet aan deze normen.

Bij het verwerken van de stoffelijke resten van overledenen worden gedurende de gehele levenscyclus milieueffecten veroorzaakt. Deze levenscyclus begint vanaf het moment dat het lichaam bepaalde processen ondergaat en eindigt zodra alle stoffelijke resten vergaan zijn. De voorfase van de ceremonie valt hier dus niet onder, zoals reeds uitgelegd in hoofdstuk 2. Bij de levenscyclus van uitvaarttechnieken worden de volgende fases onderscheiden, met als voornaamste processen:

- Winning en productie van grondstoffen, materialen en/of producten voor niet-natuurlijke componenten, zoals de kist, machines, grafmonument etc.;
- Voorbereidingen voor het beoogde proces, zoals graven, voorverwarmen van de crematieoven, etc.;
- Uitvoering van de uitvaarttechniek;
- Onderhoud van begraafplaats en strooiveld, de oven en ander materieel;
- Verwerking van reststoffen zoals metalen, overblijfselen (bijv. as), afvalwater, etc.;
- Transport en andere logistieke handelingen tussen de verschillende processtappen of technieken.

Alle processen die een rol in spelen in deze fases worden uitgebreid beschreven in Hoofdstuk 4.

Om de LCA voor een specifieke uitvaarttechniek uit te kunnen voeren is gedetailleerde informatie (inclusief hoeveelheden) vereist met betrekking tot materiaal- en energiegebruik, handelingen (bouw, onderhoud en afbraak), transport van materialen en restproducten, gedurende de gehele levenscyclus van deze uitvaarttechniek.
TNO heeft vragenlijsten opgesteld op basis van een beschrijving van alle fases van de drie uitvaarttechnieken. Deze vragenlijsten zijn ingevuld door Yarden en partnerbedrijven voor zover het begraven en cremeren betrof. Voor Resomeren heeft Resomation Ltd. de vragen beantwoord. Deze gegevens zijn door TNO gecontroleerd voor zover mogelijk en indien nodig aangevuld met informatie uit de literatuur en van TNO-experts. De specifiek gebruikte data zijn afgestemd met Yarden. Yarden heeft geen contractuele samenwerkingsverbanden met Resomation Ltd.

Op basis van specifieke data heeft TNO de milieuprofielen berekend voor drie verschillende uitvaarttechnieken, met behulp van het rekenprogramma SimaPro versie 7.3.3 (Pré Consultants, 2014) en de database Ecoinvent versie 2 (Frischknecht, et al., 2007). In de TNO-studie van 2011 is de CML 2001-methode (Guinée, et al., 2001) gebruikt om de milieueffecten te analyseren.

De afgelopen tien jaar is er een opvolger ontwikkeld voor de CML 2001-methode, in combinatie met de Ecoindicator 99-methode. Omdat deze studie nastreeft om zo recent mogelijke methodes en informatie te gebruiken, zullen de berekeningen uitgevoerd worden met deze nieuwe methode, ReCiPe Midpoint H v1.04 (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Struijs, & Zelm, 2009).
Met beide methodes kunnen de milieueffecten berekend worden voor een aantal milieueffectcategorieën in de bijbehorende eenheden per categorie (meestal in kilogrammen van een prominente vervuilende stof in die milieueffectcategorie). De methodes onderscheiden de volgende milieueffectcategorieën en bijbehorende effecteenheid (Tabel 1).

Tabel 1 Effectcategorieën en bijbehorende eenheden, die gebruikt worden in de CML- en ReCiPe-methode.

Effectcategorie	**Eenheid CML**	**Eenheid ReCiPe**
Klimaatverandering	kg CO_2 eq	kg CO_2 eq
Aantasting ozonlaag	kg CFC11 eq	kg CFC11 eq
Humane toxiciteit	kg 1,4-DCB eq	kg 1,4-DB eq
Smogvorming	kg C_2H_2 eq	kg NMVOC
Fijnstofvorming	-	kg PM_{10} eq
Ioniserende straling	-	kg U^{235} eq
Verzuring[2]	kg SO_2 eq	kg SO_2 eq
Vermesting	kg PO_4^{3-} eq	
Vermesting – zoetwater	-	kg P eq
Vermesting – zoutwater	-	kg N eq
Terrestrische ecotoxiciteit	kg 1,4-DCB eq	kg 1,4-DB eq
Zoetwater aquatische ecotoxiciteit	kg 1,4-DCB eq	kg 1,4-DB eq
Zoutwater aquatische ecotoxiciteit	kg 1,4-DCB eq	kg 1,4-DB eq
Landgebruik	m^2.jaar	
Landgebruik – Landbouw	-	m^2.jaar
Landgebruik – Stedelijk	-	m^2.jaar
Transformatie van Natuurlijk Land	-	m^2
Uitputting abiotische grondstoffen	kg Sb eq	
Uitputting watervoorraden	-	m^3
Uitputting mineralenvoorraden	-	kg Fe eq
Uitputting fossiele grondstoffen	-	kg olie eq

De CML2-methode zal gebruikt worden voor de vergelijking van de nieuwe resultaten met die van de voorgaande studie, in het hoofdstuk Gevoeligheidsanalyses. Daarnaast zullen de effecten van de methodekeuze geanalyseerd worden, door de resultaten met zowel de ReCiPe-methode als met de CML2-methode te vergelijken met een andere gevoeligheidsanalyse.

In Bijlage B worden de verschillende effectcategorieën kort toegelicht. De waarden per effectcategorie die voortkomen uit deze studie, zijn berekende waarden en geen gemeten waarden. De resultaten voorspellen geenszins de toekomstige situatie, het overschrijden van normen, veiligheidsmarges of risico's; daar bestaan andere analysemethoden voor.

[2] ReCiPe noemt verzuring specifiek "terrestrisch".

Op basis van de resultaten uit SimaPro kunnen de effecten van verschillende uitvaarttechnieken alleen vergeleken worden op het niveau van de effectcategorieën, omdat iedere effectcategorie een andere eenheid heeft. Op deze manier kan geen duidelijk beeld worden geschetst van het 'totale' milieueffect van de verschillende uitvaarttechnieken. Om een dergelijke vergelijking van de 'totale' milieu-impacts van de uitvaarttechnieken toch mogelijk te maken, is de schaduwprijzenmethode toegepast. Hierbij wordt een wegingsstap toegepast, welke niet valt binnen ISO 14040-14044. De ISO-normen raadden het gebruik van weging af, omdat dit een subjectieve laag toevoegt aan de resultaten, die daarmee minder exact worden. De resultaten met betrekking tot de schaduwprijzen zijn dus niet conform de ISO-normen. Ze worden echter wel getoond in deze rapportage, omdat ze het mogelijk maken de orde grootte van de verschillende milieueffecten te begrijpen en omdat hiermee de drie technieken vergeleken kunnen worden.

3.2 Milieu-impact op basis van schaduwprijzen

De schaduwprijs voor een bepaalde effectcategorie is gebaseerd op de kosten van de maatregelen voor emissiereducties, die genomen moeten worden om huidige en toekomstige milieubeleidsdoelen voor die categorie in Nederland te halen. Een groot voordeel van de schaduwprijzenmethode is dat de som van de monetaire bijdragen van de individuele effectcategorieën als indicator kan worden gebruikt om de grootte van de totale impact uit te drukken. Dit maakt de vergelijking van alternatieven op een simpele wijze mogelijk. Meer details met betrekking tot de schaduwprijzenmethode zijn opgenomen in Bijlage C.

De gehanteerde schaduwprijzen voor de verschillende effectcategorieën worden gepresenteerd in Tabel 2.

Tabel 2 Schaduwprijzen voor verschillende effectcategorieën.

Effectcategorie	Schaduwprijs CML [€/eq]	Bron prijs CML	Schaduwprijs ReCiPe [€/eq]	Bron prijs ReCiPe
Klimaatverandering	0,05	(Stichting Bouwkwaliteit, 2011)	0,025	(Bruyn, et al., 2010)
Aantasting ozonlaag	30	(Stichting Bouwkwaliteit, 2011)	39,1	(Bruyn, et al., 2010)
Humane toxiciteit	0,09	(Stichting Bouwkwaliteit, 2011)	0,0206	(Harmelen, Korenromp, Deutekom, Ligthart, Leeuwen, & Gijlswijk, 2007)
Smogvorming	2	(Stichting Bouwkwaliteit, 2011)	0,585	(Bruyn, et al., 2010)
Fijnstofvorming	Nvt		51,5	(Bruyn, et al., 2010)
Ioniserende straling	nvt		0,0425	(Bruyn, et al., 2010)
Verzuring[3]	4	(Stichting Bouwkwaliteit, 2011)	0,638	(Bruyn, et al., 2010)
Vermesting (ongespecificeerd)	9	(Stichting Bouwkwaliteit, 2011)	nvt	(Bruyn, et al., 2010)
Vermesting (zoetwater)	nvt		1,78	(Bruyn, et al., 2010)
Vermesting (zoutwater)	nvt		12,5	(Bruyn, et al., 2010)

[3] ReCiPe noemt verzuring specifiek "terrestrisch".

Effectcategorie	Schaduwprijs CML [€/eq]	Bron prijs CML	Schaduwprijs ReCiPe [€/eq]	Bron prijs ReCiPe
Terrestrische ecotoxiciteit	0,06	(Stichting Bouwkwaliteit, 2011)	1,28	(Harmelen, Korenromp, Deutekom, Ligthart, Leeuwen, & Gijlswijk, 2007)
Zoetwater ecotoxiciteit	0,03	(Stichting Bouwkwaliteit, 2011)	0,04	(Harmelen, Korenromp, Deutekom, Ligthart, Leeuwen, & Gijlswijk, 2007)
Zoutwater ecotoxiciteit[4]	0	(Life Cycle Initiative, 2004)	0	(Life Cycle Initiative, 2004)
Landgebruik (ongespecificeerd)	0,201	NIBE (2002)	nvt	
Landgebruik (landbouw)	nvt		0,094	(Harmelen, Horssen, Jongeneel, & Ligthart, 2012)
Landgebruik (stedelijk)	Nvt		0,094	(Harmelen, Horssen, Jongeneel, & Ligthart, 2012)
Landtransformatie (natuur)	Nvt		0,0019	(Harmelen, Horssen, Jongeneel, & Ligthart, 2012)
Uitputting abiotische grondstoffen	0	(Bruyn, et al., 2010)	Nvt	
Uitputting watervoorraden	nvt		1,0	(Harmelen, Horssen, Jongeneel, & Ligthart, 2012)
Uitputting mineralenvoorraden	nvt		0	(Bruyn, et al., 2010)
Uitputting fossiele grondstoffen	nvt		0	(Bruyn, et al., 2010)

[4] De Declaratie van Apeldoorn (2004) adviseert om MAETP weg te laten in assessments waar metalen een belangrijke rol spelen. Gezien het feit dat recycling van metalen een grote rol speelt in de resultaten voor de uitvaarttechnieken, wordt MAETP hier dus weggelaten (Life Cycle Initiative, 2004).

4 Systeembeschrijving

In dit hoofdstuk worden de processen die plaatsvinden in de uitvoering van de drie uitvaarttechnieken beschreven en de belangrijkste aannames die daarvoor gedaan zijn. In hoofdstuk 2 is reeds aangegeven waar de algemene systeemgrenzen liggen. In dit hoofdstuk worden de grenzen in de specifieke gevallen toegelicht. Dit hoofdstuk begint echter met uitleg van de belangrijkste algemene eigenschappen van het systeem.

4.1 Algemene systeemkenmerken

In deze paragraaf worden kort de belangrijkste algemene eigenschappen genoemd die bij meerdere uitvaarttechnieken een rol spelen.

4.1.1 Samenstelling van het lichaam en de overblijfselen

Voor deze update van het eerdere onderzoek, is gevraagd om en gezocht naar recentere gegevens met betrekking tot het lichaam en de overblijfselen dan de gegevens uit de voorgaande rapportage (Keijzer & Kok, Milieueffecten van verschillende uitvaartmogelijkheden, 2011). Helaas zijn er geen recentere gegevens geleverd of gevonden, en daarom zijn dezelfde gegevens weer gebruikt. Hoewel meer recente gegevens een interessante toevoeging zouden zijn aan het onderzoek, bijvoorbeeld om de invloed van toename in overgewicht van de gemiddelde Nederlander[5] op de uitvaartprocessen te bepalen, is de invloed op de resultaten waarschijnlijk acceptabel laag. Dit zal een punt van aandacht zijn bij de gevoeligheidsanalyses.

De samenstelling van het menselijk lichaam, en dientengevolge ook de samenstelling van de overblijfselen na de uitvaart, komen terug in de berekening van alle uitvaarttechnieken, en worden daarom hier apart besproken. Als basis voor de berekeningen is het onderzoek van Forbes (Forbes, 1987) gebruikt dat, ondanks het feit dat het ruim twintig jaar oud is op moment van schrijven, een van de meest complete en gerefereerde onderzoeken is op dit gebied. Twee missende elementen zijn toegevoegd; kwik (Slooff, Beelen, Annema, & Janus, 1994) en PCB's (Axelrad, Goodman, & Woodruff, 2009) en PCDD's/PCDF's (achtergrondgegevens over dioxines van de WHO (WHO, 1998)). Voor onduidelijke waardes (bijvoorbeeld "<0,01") werd de meest pessimistische benadering gevolgd (in dit geval 0,01 dus). Er is een correctie toegepast voor alle soorten overblijfselen op de momenten dat de massabalans (veelal uitgedrukt in mg/kg) niet compleet was (de som van alle stoffen was minder dan 1.000.000 mg/kg). De correctie is op de volgende wijze gedaan:

[berekend drooggewicht (mg)] = [elementconcentratie (mg/kg)] x 1.000.000 / [som van elementconcentraties[6] (mg)].

[5] De afgelopen 20 jaar is de gemiddelde man in Nederland bijna 6 en de gemiddelde vrouw bijna 4 kilogram zwaarder geworden (CBS, 2012). Met een gemiddeld lichaamsgewicht in 2011 van 84 kg voor mannen en 70 kg voor vrouwen, vertonen de gebruikte bronnen een afwijking van circa 10% (70 kg i.p.v. 77 kg gemiddeld).

[6] De som van de concentraties zou in theorie 1.000.000 mg moeten zijn (1 kg = 1.000.000 mg), maar de praktijk wees anders uit; vandaar deze correctiefactor.

De samenstelling van crematieas vertoont enkele verschillen met de lichaamssamenstelling.
Desalniettemin is er gekozen om het analyserapport van Smit (Smit, 1996) te gebruiken voor de berekeningen, omdat het van de weinige analyserapporten van crematieas het meest complete is. Voor kwik is een aanpassing gemaakt, omdat Smit 2,47 gram kwik toevoegde voor deze metingen om het effect te zien, terwijl gemiddeld een crematie slechts 1,5 gram bevat (Molenaar & al., 2009).
De exacte samenstelling van de geresomeerde overblijfselen was niet bekend. De geresomeerde overblijfselen verschillen sterk ten opzichte van crematieas om twee redenen. Ten eerste zijn de fysieke en chemische processen zeer verschillend; respectievelijk verbranding op hoge temperatuur en behandeling met loog en warm water. Ten tweede zijn de outputs van deze processen zeer verschillend; bij cremeren blijft as en gas over, bij resomeren poeder en water. Aannemen dat het resomatiepoeder dezelfde samenstelling heeft als crematieas, is dus geen optie; er moeten meer aannames gedaan worden, in combinatie met wat wel bekend is over het poeder.
Wat bekend is van de geresomeerde overblijfselen, is dat ze voornamelijk bestaan uit overblijfselen van de botten, oftewel calciumfosfaat (Ecogeek, 2010), of meer specifiek hydroxyapatiet ($Ca_5(PO_4)_3OH$). Daarnaast bevatten de botten ongeveer 5% carbonaat en magnesium, fluoride, barium, strontium, zwavel, koper, zink, mangaan en silicium (zie onder andere: (Mbuyi-Muamba, Dequeker, & Gevers, 1988)) en lood. Voor de eenduidigheid gaan we er van uit dat de geresomeerde overblijfselen de helft bevatten van wat er in het lichaam aanwezig was aan deze elementen. Dit is niet de ideale oplossing, maar een betere aanname was niet te maken.
De uiteindelijk gehanteerde getallen zijn terug te vinden in Tabel 6 in Bijlage D.
Kleine verschillen tussen de berekeningen van de samenstelling van de overblijfselen bij de verschillende uitvaarttechnieken worden veroorzaakt doordat verscheidene bronnen verschillende standaarden hanteren voor lichaamsgewicht: soms 70 kg, soms 75 kg.

4.1.2 Niet-menselijke materialen

Het menselijk lichaam bevat tegenwoordig een scala aan niet-menselijke materialen, zoals protheses, kunstgebitten en pacemakers[7], maar ook borstimplantaten en artificiële hartkleppen. Een “gemiddelde” overledene zou dus een scala aan materialen bevatten, maar door al deze materialen mee te nemen worden de resultaten minder scherp, en duidelijkheid was juist een van de doelen van dit onderzoek. Daarom zijn slechts twee zaken meegenomen: de metalen, omdat deze een grote en onderscheidende invloed hebben op de resultaten en omdat er betrouwbare, empirische gegevens van beschikbaar zijn, en, als proxy voor niet-metalen, een kunstgebit, omdat deze door een groot deel van de overledenen wordt gedragen (CBS, 2003).
Een ander punt van discussie is het effect van medicijnen in het menselijk lichaam, zoals pijnstillers en chemotherapeutische middelen. Deze laatste worden verondersteld om snel te verdwijnen uit het lichaam en daardoor geen effect te hebben bij welke uitvaarttechniek dan ook (Molenaar & al., 2009).

[7] Pacemakers worden voorafgaand aan een crematie verwijderd uit het lichaam en gaan dus niet de oven in.

Geneesmiddelen worden verondersteld uiteen te vallen bij de hoge temperaturen van de crematie. Bovendien, Molenaar *et al.* concluderen dat er geen noodzaak is om de medicijnen als chemisch afval te beschouwen, dus is er geen reden om er rekening mee te houden bij begraven.
Tabel 7 in Bijlage D geeft het overzicht van de gehanteerde getallen in dit onderzoek. De eerste vier materialen die worden genoemd in de tabel (kobaltchroom, roestvast staal, titanium en ijzerschroot) komen van de handgrepen en ornamenten van de kist en van chirurgische metalen. De laatste vier metalen, de edelmetalen (goud, zilver, platina en palladium), zijn hoogstwaarschijnlijk tandvullingen en juwelen, en misschien deels ook nog enkele chirurgische metalen. De exacte herkomst van deze metalen is echter niet belangrijk voor dit onderzoek; hierbij zijn slechts de exacte hoeveelheden van belang, welke beschikbaar zijn gesteld door de recyclingbedrijven.

4.1.3 Lijkomhulsel

Bij begraven en cremeren is het facultatief om het lichaam te omhullen door een lijkhoes van biologisch afbreekbare materialen; dit gebeurt in circa 22% van de gevallen (Hesselmans International, 2010). Bij resomeren is het gebruik van een lijkhoes op eiwitbasis vereist.
De wet op de lijkbezorging schrijft voor dat het lichaam omhuld wordt door een kist of een ander geschikt omhulsel. Dit kan niet alleen een kist zijn, maar ook bijvoorbeeld een plank met een lijkwade. Een lijkwade wordt echter slechts in weinig gevallen toegepast; daarom zijn de drie meest voorkomende kisttypes gehanteerd voor het bepalen van een gemiddelde lichaamsomhulling. Hiervoor is informatie van Unigra (Unigra, 2010) gebruikt, welke in 2014 is gecontroleerd en bevestigd door Yarden als zijnde representatief:

- Spaanplaat, 36 kg, marktaandeel van 80%;
- Eikenhout, 43 kg, marktaandeel van 14%;
- Vurenhout, 30 kg, marktaandeel van 6%.

Er is gerekend met een gewogen gemiddelde van deze kisttypes; voor 1 gemiddelde kist is dus (80% x 36 =) 29 kg spaanplaat nodig, 6 kg eikenhout en 2 kg vurenhout. Eventuele verschillen tussen kisten voor begrafenissen en crematies zijn niet meegenomen.
Voor de bekleding van de kist is uitgegaan van gegevens van Unigra (Unigra, 2010), aangevuld met een eigen aanname over het hoofdkussen. Uit Dijk & Mennen (Dijk & Mennen, 2002) was bekend dat 85% van de kisten houten handgrepen heeft en Unigra liet het gewicht ervan weten. Deze fractie is op dezelfde manier meegenomen als bij de verschillende kisttypes.
Voor metalen handgrepen is een aanname gedaan, omdat er geen gewicht bekend is, maar totaalgegevens over al het staal dat na de crematie vrijkomt (chirurgisch + de vooraf verwijderde handgrepen). We hebben grofweg aangenomen dat de helft afkomstig was van de handgrepen. Het recyclingbedrijf gaf ook de hoeveelheid ingezameld zink, die afkomstig was van de ornamenten (Orthometals, 2010). Op basis van dit getal kon de gemiddelde hoeveelheid zinken ornamenten per uitvaart berekend worden.

4.1.4 Modellering van begraven van overblijfselen

De begrafenis van het lichaam of van de overblijfselen van een uitvaartproces kan worden beschouwd als een ongebruikelijke afvalstorting, zoals wordt geïllustreerd door Dent & Knight (Dent & Knight, 1998).

Het berekenen van de milieueffecten van uitvaarten met de aanname dat de begraafplaats een gebruikelijke stortplaats is, is dus niet voldoende. Daarom is een stortplaatsmodel (uitgelegd in (Eggels & Ven, 2000)) aangepast naar deze specifieke situatie.
In dit model kan de lichaamssamenstelling eenvoudig worden ingevoerd in de vorm van de elementen, waarna het model de emissies naar bodem en water berekent. Een aantal aanpassingen zijn gemaakt:

- Beheerkosten van de stortplaats in de vorm van dieselverbruik, elektriciteitsbehoefte, affakkelen en motor zijn op nul gezet, want dit is afzonderlijk opgenomen in de berekeningen.
- De gasproductiefactor (methaan) is vastgesteld op 5%. Er zijn geen gegevens beschikbaar over de hoeveelheid gas die vrijkomt, maar we nemen aan dat dit vrij laag is als gevolg van de bufferende werking van de bodem en afbraak in de bodem. Productie van andere gassen is niet meegenomen, omdat begraafplaatsen gemiddeld gezien geen gevaar vormen (zoals geconcludeerd in het promotieonderzoek van Boyd Dent (Dent, 2002)).
- Emissiefactoren zijn op dezelfde waarden gehouden als die in het stortplaatsmodel, omdat er geen informatie beschikbaar is over het onderwerp van begraafplaatsemissies. Deze emissies zijn hoogstwaarschijnlijk niet zoveel uit maken, omdat de emissies biogeen en niet fossiel zijn en dus niet meegeteld worden in broeikasgasberekeningen.
- De reinigingsfactor is ook op nul gezet, omdat er vrijwel geen schoonmaak op de begraafplaats nodig is.
- Waar nodig, zijn berekeningen gemaakt of aangepast om S in SO_4 of P in PO_4 om te rekenen of omgekeerd.
- Fosfaat is toegevoegd, omdat het een belangrijke factor lijkt (bijvoorbeeld in het geval van eutrofiëring), maar het ontbrak in het model. Bij gebrek aan data is gekozen om de SO_4 gegevens als een proxy voor PO_4 te gebruiken.
- Dioxines (alleen PCB's) werden ook toegevoegd, ze kregen een k-waarde van 1%.
- Aangezien COD niet beschikbaar is als een optie voor bodememissies in SimaPro, is dit genegeerd.
- Het Ecoinventrapport over stortplaatsen (Doka, 2007) beschouwt Ca, K, Mg, Na, Al en Si als onschuldig, en daarom zijn zij niet aanwezig in deze analyse, ook al komen ze wel in het menselijk lichaam voor.
- *k-waarden*, die bepalen welke fracties van de specifieke elementen beschikbaar komen, ontbraken. De factoren, beschreven in Eggels & Ven (Eggels & Ven, 2000) in de rubriek "Toewijzing model voor het storten van vast stedelijk afval", zijn gebruikt als een proxy. De andere gegevens zijn overgenomen van het model voor kunststof afval dat beschikbaar was bij TNO.

Dit alles resulteerde in de set *k*-waarden, die zijn terug te vinden in Tabel 8 in Bijlage D.

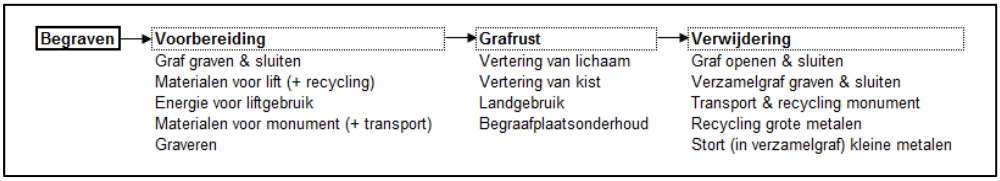
4.1.5 Recycling van metalen

Recycling van metalen komt op verschillende wijzen terug bij alle uitvaarttechnieken. De specifieke berekening hiervoor is reeds uitgelegd in de beschrijving van de Allocatieprocedures in paragraaf 2.2. De gehanteerde getallen zijn weergegeven in Tabel 9 in Bijlage D.

4.2 Begraven

Bij begraven wordt het lichaam in een afgedekt graf in de grond geplaatst. Er bestaan enige varianten hierop, waarbij het lichaam bijvoorbeeld bovengronds begraven wordt, maar deze worden hier niet meegenomen.

De verschillende stappen voor een gemiddelde begrafenis zijn weergegeven in Figuur 3 en worden vervolgens toegelicht. De specifieke getallen die zijn gehanteerd voor de LCA-berekeningen, zijn weergegeven in Tabel 11 in Bijlage D.



Figuur 3 Schematisch overzicht van het begrafenisproces.

Voorafgaand aan de begrafenis wordt er mechanisch een gat gegraven met een shovel. De diepte van het graf is afhankelijk van meerdere factoren, maar moet minimaal 65 cm onder de oppervlakte en ten minste 30 cm boven de gemiddelde hoogste grondwaterhoogte liggen. Daarnaast is er een wettelijk maximum aan het aantal personen per graf. De diepte varieert hierdoor sterk. Genius Loci[8] gaf in 2010 als richtlijn dat een enkeldiep graf ongeveer 1 meter diep is, en een dubbeldiep graf 2 meter; dit verondersteld dat er per persoon ongeveer 1 meter gegraven moet worden (Genius Loci, 2010). In een reactie op deze aannames stelde de LOB in 2014 dat de diepte van een enkel graf 0,65 + 0,35 = 1 meter diep is en een dubbeldiep graf 0,65 + 0,35 + 0,30 + 0,35 = 1.65 meter diep[9]. Bovendien ligt in een particulier graf gemiddeld 1.5 personen begraven en in een algemeen graf 2,5 personen (LOB, 2014). Dit betekent een gemiddelde graafdiepte van 0,83 meter per persoon voor particuliere graven en 0,79 meter voor algemene graven[10]. Omdat deze dieptes amper verschillen en om de berekeningen niet onnodig ingewikkeld te maken zullen we in de berekeningen geen onderscheid maken tussen de verschillende graftypes en in beide gevallen met een gemiddelde graafdiepte per persoon van 0,8m rekenen.
De oppervlakte van een graf is ongeveer 1,25 bij 2,5 meter (Genius Loci, 2010). De LOB (LOB, 2014) voegt hieraan toe dat de oppervlakte van het graf anders is dan de gegraven kuil; de oppervlakte van de kuil is ongeveer 1,00 bij 2,30 meter. Dit zal ook meegenomen worden in de nieuwe berekeningen.
De kist kan men laten zakken door middel van een lift of met de hand; in 88,5% van de gevallen wordt tegenwoordig een lift gebruikt (Yarden, 2014), in tegenstelling tot de aanname van 95% in het voorgaande rapport. Na het laten zakken van de kist wordt het graf weer gevuld, voor het grootste deel mechanisch met de shovel. Meestal wordt het graf niet direct afgedekt met een grafmonument, maar eerst met een tijdelijk monument, maar dat wordt in deze studie niet in beschouwing genomen.

[8] Genius Loci heet sinds kort Kybys. Voor de consistentie en continuïteit met het voorgaande onderzoek, zullen we de naam Genius Loci blijven gebruiken.
[9] Voor een graf met 3 personen is de volgende diepte verondersteld, 1,65 + 0,30 + 0,35 = 2,3 m.
[10] Als een graf 50% van de tijd 2,3 m diep is en 50% 1,65 m, dan is het gemiddeld 1,975 m diep voor 2,5 persoon, wat betekent 0,79 m per persoon.

Na ongeveer vier maanden kan het definitieve grafmonument worden geplaatst; in 2010 schatte de LOB dat dit in 75% van de gevallen gebeurt, maar in 2014 stelden ze dit percentage bij naar 66%. Voorafgaand aan de plaatsing wordt een fundering van beton gelegd. Het grafmonument zelf kan bestaan uit allerlei soorten materiaal, maar wordt meestal van steen gemaakt (in 2010 nog op 75%[11] geschat door de LOB, maar in 2014 bijgesteld naar 50%[12]). Volgens de LOB in 2010 bedekt een steen meestal zo'n 70% van het graf, hetgeen verfijnd werd door Yarden tot 67% in 2014 (Yarden, 2014). De LOB stelde dit later bij naar een schatting van 40x60 cm, hetgeen veel kleiner is dan de schatting van Yarden. Voor de berekeningen zullen we uitgaan van het worst-case scenario, dat wil zeggen de hoeveelheid die Yarden op gaf. Als we dan aannemen dat de steen ongeveer 5 cm dik is, kan het gewicht van de steen geraamd worden.
Deze steen moet over een lange afstand getransporteerd worden, aangezien de natuursteen veelal uit het buitenland afkomstig is.
Wat de gemiddelde afstand is die een steen moet afleggen is niet bekend. Daarom is voor de vorige studie als gemiddeld verondersteld dat de steen van een ander werelddeel moet komen (aanname 5000 km per schip) en dan nog in Nederland een kleine afstand moet afleggen (aanname 200 km per vrachtauto). De LOB stelt dat de steen voor een belangrijk deel uit België, Portugal en Italië komt en dat vervoer per schip daarbij niet aan de orde is (LOB, 2014). De gemiddelde afstand tot deze landen (200, 2000 en 1600 km) is circa 1267 km. Deze steen ondergaat vaak ook nog een bepaalde behandeling zoals polijsten en graveren.
Tijdens de daaropvolgende periode van grafrust kunnen het lichaam en de kist ongestoord ontbinden. De wet schrijft een vaste periode van grafrust voor van tien jaar voor alle graftypes. Algemene graven worden gehuurd voor tien jaar en mogen daarna verwijderd worden door de begraafplaatshouder. Meestal wordt dit op een strategisch moment gedaan, na meer dan de officiële tien jaar. In de vorige studie is 15 jaar aangenomen. Volgens Dijk & Mennen zijn circa 90% van de graven particuliere graven, die gehuurd worden voor ten minste twintig jaar en daarna steeds met tien jaar verlengd kunnen worden (Dijk & Mennen, 2002). We hebben aangenomen dat die graven in totaal ongeveer 40 jaar meegaan, hetgeen bevestigd werd door de LOB in 2010. Echter, voor de update van de studie zijn recente onderzoeksgegevens (2012) van de LOB gebruikt, die samen circa 80% van de begravingen in Nederland representeren, en stellen dat 33% wordt begraven in een algemeen graf en 66,7% in een particulier graf. Daarnaast gaf Yarden gedetailleerde cijfers over de gemiddelde grafrust; 14 jaar voor een algemeen en 34 jaar voor een particulier graf (Yarden, 2014). Dit geeft een gemiddelde grafrust van 27,3 jaar (oftewel tien jaar minder dan de veronderstelde 37,5 jaar in de vorige rapportage).
Het begraven van menselijke overblijfselen kan beschouwd worden als een speciale vorm van storten, met ontbindingsprocessen die worden bepaald door de natuurlijke eigenschappen van de bodem, de onderhoudsmethoden van de begraafplaats, specifieke aspecten van de begrafenis en de eigenschappen van de overblijfselen.

[11] In het voorgaande rapport werd hier onjuist "85%" gesteld in plaats van "75%" (LOB, 2014).
[12] De andere 50% van de grafmonumenten bestaat uit hout of planten. We veronderstellen dat hier slechts een kleine hoeveelheid hout gebruikt zal worden, bijvoorbeeld voor een naambordje, aangezien volledig grafbedekkende houten plakkaten niet gebruikelijk zijn. We veronderstellen dat deze hoeveelheid verwaarloosbaar klein is ten opzichte van de andere materialen.

Potentiële problemen van begraafplaatsen zijn verontreiniging van het omringende bodem- en grondwater door virussen, bacteriën en giftige stoffen zoals het amalgaam uit tandvullingen, en lokale vermesting, voornamelijk als gevolg van het vrijkomen van stikstof en fosfor. De complicatie bij het kwantificeren van deze problemen is dat ze vaak zeer lokaal van aard zijn en dat er zeer weinig wetenschappelijk onderbouwde informatie over beschikbaar is[13].
Om deze onzekerheden te vermijden, worden deze specifieke eigenschappen, die een begraafplaats onderscheid van een gewone stortplaats, genegeerd in deze studie. De begraafplaats wordt voor de helderheid technisch beschouwd als een speciaal soort stortplaats waar menselijke overschotten op natuurlijke wijze kunnen ontbinden. Het onderhoud van de begraafplaats is echter verschillend van een vuilstortplaats en is apart meegenomen (irrigatie en enig groenonderhoud).

Voor de berekeningen van het onderhoud en het landgebruik was het nodig om de gemiddeld gebruikte oppervlakte per persoon te weten. Dit is berekend door de gegevens voor de gemiddelde oppervlakte van begraafplaatsen (1,32 ha) te delen door het gemiddeld aantal personen die op een begraafplaats liggen (1328; gegevens van (Steen & Pellenbarg, 2007)). Yarden verstrekte voor de update nieuwe getallen (8,75 ha en 8637 personen), maar dit levert dezelfde gemiddelde oppervlakte per persoon op, 10 m^2. Hier zit dus zowel landgebruik voor het graf in, als voor het verzamelgraf, groenvoorziening en paden. De informatie, wat betreft het (natuur)onderhoud van een begraafplaats, waaronder maaien en dergelijke, is voor deze studie geactualiseerd door Yarden (zie Tabel 11 in Bijlage D).
Op een bepaald moment na de grafrustperiode wordt het graf geruimd. In de voorgaande studie werd verondersteld dat alle overblijfselen, zowel de beenderen als de niet-menselijke resten van bijvoorbeeld protheses en de kist, terecht komen in een verzamelgraf op de begraafplaats. Deze informatie is als volgt genuanceerd en geactualiseerd naar de huidige praktijken door de LOB (LOB, 2014). De algemene graven worden vaak met meerdere tegelijk geruimd door middel van een shovel. De beenderen worden herbegraven in een verzamelgraf, in het verleden ook wel knekelput genoemd. De niet-menselijke materialen die hier nog tussen zitten, worden in circa de helft van de gevallen gescheiden en naar de gemeentelijke afvalverwerking gebracht, waar metalen gerecycled kunnen worden. In de andere helft van de gevallen vind geen scheiding plaats en worden alle resten begraven in het verzamelgraf. Bij particuliere graven vind vaak een mindere mate van scheiding plaats. Een verouderd doch illustratief voorbeeld hiervan is uitvaart-adviseur Mr. W. van der Putten die in de vraag-en-antwoord-rubriek van Uitvaart.nl stelt dat het geen gebruik is om kleine voorwerpen zoals bijvoorbeeld (gouden) kiezen te zoeken tussen de opgegraven overblijfselen (Putten, 1998). In de berekeningen zal daarom meegenomen worden:

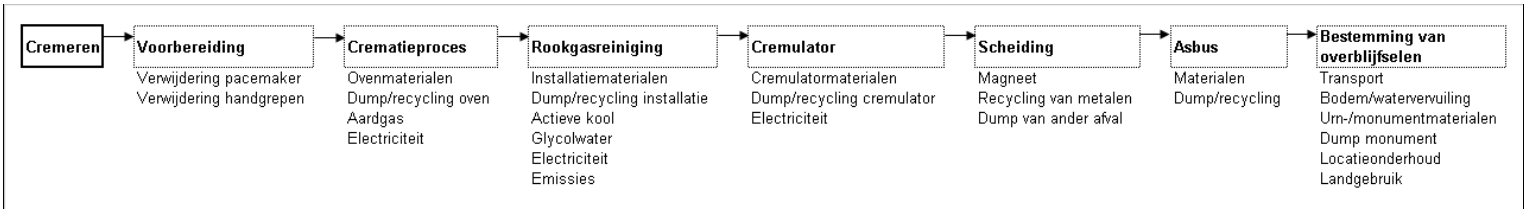
- Algemeen graf (33%); 50% recycling van alle metalen, 50% in verzamelgraf;
- Particulier graf (67%); 50% recycling van de metalen die in grote hoeveelheid aanwezig zijn (>100 gram per overledene); de rest in verzamelgraf.

[13] Illustratief voor het informatietekort is het feit dat in veel publicaties van na 2000 nog steeds vaak een bron uit 1951 aangehaald wordt (Haaren, 1951). Dent (2002) heeft een buitengewoon uitgebreid proefschrift geschreven over het onderwerp, maar is hier een uitzondering in (Dent, The hydrogeological context of cemetery operations and planning in Australia. PhD Thesis., 2002).

Het grafmonument wordt volgens de geactualiseerde gegevens van de LOB niet als afval behandeld maar gerecycled. In de berekeningen is het transport van de steen en een recyclingefficiëntie van 90% meegenomen.

4.3 Cremeren

Cremeren is de verbranding van het lichaam in een crematorium. De verschillende stappen voor een gemiddelde crematie zijn weergegeven in Figuur 4 en worden vervolgens toegelicht. De specifieke getallen die zijn gehanteerd voor de LCA-berekeningen, zijn weergegeven in tabel 12, Bijlage D. Op één punt na zijn alle processen en berekeningen onveranderd ten opzichte van de voorgaande studie. De leveranciers van Yarden gaven aan dat de veronderstelde hoeveelheid gas die nodig is voor een crematie, aan de optimistische kant was. Dit is hieronder in de beschrijving van het gehele proces nader toegelicht.

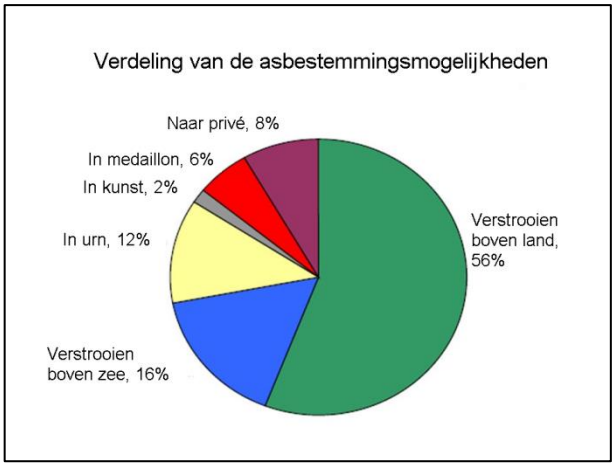


Figuur 4 Schematisch overzicht van een crematieproces.

Twee acties worden voorafgaand aan de crematie ondernomen; verwijdering van de pacemaker wegens explosiegevaar van de batterij in de crematieoven en verwijdering van de externe metalen elementen van de kist. Grote uitwendige protheses zoals kunstbenen worden tevens van tevoren verwijderd, maar kleinere en inwendige protheses zoals kunstheupen en –vingers worden onberoerd gelaten. Het verwijderen van de pacemaker en van protheses is niet meegenomen in de berekeningen (de verwerking ervan wel, zoals recycling van metalen; zie hieronder). De metalen elementen van de kist, zoals handgrepen en ornamenten, worden verwijderd, verzameld en gerecycled.
Er zijn twee oventypes in gebruik in Nederland: warme (70% van het totaal) en koude (30%) startovens. De warme startoven wordt voorverwarmd tot 800 ˚C, de koude tot 400 ˚C. In de Nederlandse crematoria worden beide types verwarmd door aardgas. Omdat warme startovens de meerderheid vertegenwoordigen, hanteert deze studie enkel de procesgegevens van de warme startoven. De invloed van de variatie in het gasverbruik per crematie op de totale milieu-impact wordt meegenomen in een gevoeligheidsanalyse. Een oven wordt grotendeels gemaakt van roestvaststaal en elektronische componenten en gaat gemiddeld ongeveer 25.000 keer mee.
De crematie zelf start zodra de kist de oven binnengaat. De crematie duurt ongeveer 75 minuten in een warme startoven. Moderne crematies worden gecontroleerd door een computersysteem. Bij de dataverzameling voor het onderzoek in 2011 werden er zeer verschillende waarden opgegeven voor het gemiddelde gasverbruik per crematie, variërend van 15 m^3 tot 45 m^3; het gemiddelde was ongeveer 25 m^3, hetgeen ondersteund werd door meerdere informele bronnen op internet.

Voor deze vervolgstudie heeft Yarden het echter nogmaals nagevraagd bij zijn toeleveranciers, en die meldden dat 25 m^3 realistisch is bij een groot aantal crematies per dag, maar dat bij minder crematies 50 à 70 m^3 realistischer is (Yarden, 2014). Als gemiddelde zullen we 50 m^3 meenemen in de berekeningen[14].
Een bijproduct van de crematie is rookgas, dat gereinigd dient te worden, voordat het de open lucht in gaat. Het rookgas kan op meerdere manieren gereinigd worden, maar voor dit onderzoek wordt een reinigingssysteem aangenomen dat bestaat uit een ventilator, injectie met actieve kool en een stoffilter. De installatie bestaat uit roestvaststaal, koper en andere materialen; voor de eenvoud is die laatste categorie samengevat als PVC. Hoe lang de reinigingsinstallatie meegaat was niet bekend, aangenomen is dat dit ongeveer even lang is als de oven zelf.
Het meenemen van actieve kool in de berekeningen is bij gebrek aan literatuurgegevens door TNO gemodelleerd op basis van de productiekosten van actieve kool (Lima, McAloon, & Boateng, 2008) en materiaalbenodigdheden 1 kilo koolstof per geproduceerde kilo actieve kool.
De stoffen die uit het gas gefilterd worden, worden behandeld als gevaarlijk afval. Door de hoge concentraties schadelijke stoffen en de uitloogbaarheid daarvan wordt dit afval onder speciale condities opgeslagen op stortplaatsen. Zo wordt (voorlopig) sterk verhinderd dat de stoffen in het milieu terecht komen.
De na de rookgasreiniging resterende emissies zijn gemodelleerd op basis van een rapport door Tauw (Tauw, 2006). De CO_2-emissies zijn apart berekend. Welch & Swerdlow ((Welch & Swerdlow, 2009), naar diverse bronnen) stelden vast dat het lichaam en kist samen ongeveer 100 kg CO_2 uitstoten (met uitzondering van de CO_2-uitstoot van het gas). Hier is verondersteld, in lijn met de massaverhouding, dat ¼ hiervan afkomstig is van de kist (en dus "normale" CO_2) en ¾ afkomstig is van het lichaam, als biogene CO_2. De CO_2-emissies van het gas zijn reeds meegerekend bij de gasverbranding.
Na de crematie blijven er menselijk as en andere resten over. De kunststoffen zijn volledig verbrand. Aangenomen is dat de scheiding van deze resten een beperkte hoeveelheid energie of materialen kost, omdat het grotendeels met de hand, een zeef of een magneet gebeurt. De menselijke resten worden vermalen in een cremulator en toegevoegd aan de overige menselijke as. De andere delen die overblijven worden verzameld en gerecycled door twee gespecialiseerde bedrijven.
De menselijke as gaat in een asbus en wordt gedurende de wettelijke termijn van 1 maand in een crematorium bewaard. De asbestemmingsmogelijkheden daarna zijn talrijk. De meest voorkomende opties zijn weergegeven in Figuur 5. De drie belangrijkste zijn meegenomen in de berekeningen. De aangenomen ratio tussen deze drie bestemmingen is geschat op basis van de getallen uit onderstaande figuur (bijv. bij “naar privé” is aangenomen dat dit waarschijnlijk boven land verstrooid wordt, en dus bij die categorie opgeteld). De uiteindelijke ratio die aangenomen is, betreft 75% verstrooien boven land, 20% boven zee en 5% bewaring in een urn. Deze ratio is onderwerp geweest van een gevoeligheidsanalyse in de voorgaande studie (Keijzer & Kok, Milieueffecten van verschillende uitvaartmogelijkheden, 2011) en daaruit bleek dat de exacte ratio niet veel verschil maakte; de belangrijkste aanname die de resultaten beïnvloedde, was het veronderstelde materiaal waarvan de urn gemaakt zou zijn. Dit is voor de nieuwe studie niet aangepast.

[14] Naast deze aanpassing van de hoeveelheid gas, is ook de keuze voor het proces in de milieu-database Ecoinvent aangepast voor deze update. In de nieuwe resultaten zijn daardoor de emissies beter gekwantificeerd, hetgeen waarschijnlijk leidt tot een lichte verhoging van de milieuscore van de effectcategorieën GWP en PM.



Figuur 5 Verdeling van de asbestemmingsmogelijkheden, in procenten. Bron: jaarcijfers van Yarden voor het jaar 2000, gepubliceerd in (Dijk & Mennen, 2002).

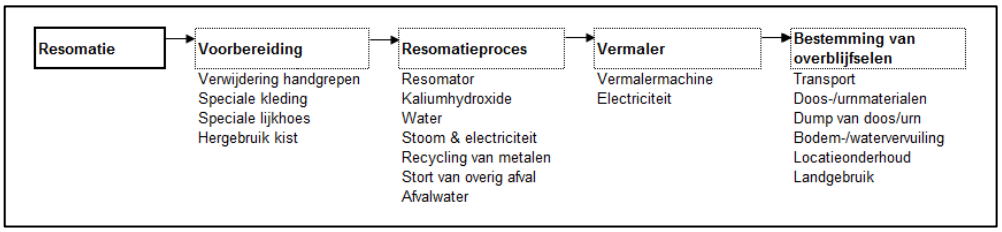
Bij verstrooien boven land is aangenomen dat dit boven een strooiveld gebeurt. Verstrooiing op andere plaatsen mag wel van de wet, maar dan is er toestemming nodig van de landeigenaar.
Het landgebruik en de daarbij horende onderhoudskosten per persoon zijn berekend aan de hand van het aantal personen dat per jaar op een veld verstrooid wordt. Hier zijn amper gegevens van (Dijk & Mennen, 2002). Daarom is de richtlijn gebruikt om hier een getal voor te bepalen. Het maximum aantal verstrooiingen per strooiveld, zonder extra maatregelen, is 370 verstrooiingen per hectare per jaar (Ministerie van VROM, 2004).
Omdat ieder jaar opnieuw nieuwe overledenen verstrooid kunnen worden op hetzelfde veld, is er geen meerjarige telling; per overledene wordt er dus 1 jaar strooiveldonderhoud gerekend.
Bij de laatste optie, bewaren in een urn, is aangenomen dat er een speciale urn gemaakt en gekocht wordt; hierbij zijn, net als voor de kist, de drie meest voorkomende urntypes in beschouwing genomen. Voor de eenvoud is aangenomen dat de meerderheid van de nabestaanden kiest om de urn thuis te bewaren, en niet in een graf of urnenmuur. In beide gevallen is de milieu-impact waarschijnlijk ongeveer gelijk, omdat er slechts twee relevante processen zijn. Ten eerste is er transport van personen van en naar het crematorium, om de as op te halen dan wel bij te zetten. Ten tweede is er een kleine hoeveelheid ruimte nodig, die vele malen kleiner is dan een graf en de aangrenzende ruimtes die nodig zijn voor paden en dergelijke[15]. In beide gevallen komt de as uiteindelijk, na meerdere jaren in de urn, alsnog in de bodem terecht omdat het waarschijnlijk ergens uitgestrooid wordt[16]; hiervoor zijn dezelfde milieueffecten gerekend als bij verstrooien boven land.

[15] Deze bewering is nader gestaafd bij de evaluatie van de resultaten en de toelichting op de hoeveelheid landgebruik voor een begraven persoon. Voor een graf en alles er om heen is gemiddeld circa 10 m^2 per persoon nodig, terwijl een urn in een urnenmuur slechts circa 0,5 m^2 nodig heeft.
[16] Dit gaat niet op voor het geval de as na een bepaald aantal jaren alsnog boven zee wordt verstrooid, maar deze mogelijkheid is hier genegeerd, omdat het slechts een kleine fractie zou zijn, gezien het totaal aantal verstrooiingen boven zee.

Zowel voor verstrooien boven land als voor bewaren in een urn dienen nabestaanden heen en terug naar het crematorium te rijden om de asbus op te halen en het ergens te verstrooien. Er is verondersteld dat twee personen de as ophalen en wegbrengen en daar gemiddeld 30 kilometer voor moeten rijden[17].
Voor de berekeningen van verstrooiingen boven zee zijn gegevens van Aqua Omega gebruikt (Aqua Omega, 2010). Zij halen allereerst de as op bij de crematoria en rijden jaarlijks circa 45.000 kilometer om de as van 2500 overledenen op te halen; op basis hiervan zijn de autokilometers per overledene berekend. De meeste verstrooiingen zijn per schip en voor de crematoria, dus zonder familie. Verstrooiingen per vliegtuig of met veel mensen zijn daarom buiten beschouwing gelaten. De schepen varen ongeveer elke 6 weken uit, hetgeen een gemiddelde van 300 asbussen per reis betekent. De schepen varen 10 km. De invloed van de as op het zeewater is berekend door aan te nemen dat de crematieas direct in de oceaan terecht komt.

4.4 Resomeren

Resomeren, of in technische bewoordingen *alkalische hydrolyse*, is een gepatenteerde methode om de weke lichaamsdelen op te lossen in een basische vloeistof.
Voor dit onderzoek werd gebruik gemaakt van informatie van Resomation Ltd. We zijn ervan uit gegaan dat resomeren op een vergelijkbaar punt in de technische ontwikkeling staat als cremeren en dat resomaties gewoon in een crematorium kunnen plaatsvinden.
De stappen zijn weergegeven in Figuur 6 en worden vervolgens toegelicht. De specifieke getallen die zijn gehanteerd voor de LCA-berekeningen, zijn weergegeven in Tabel 14, Bijlage D.

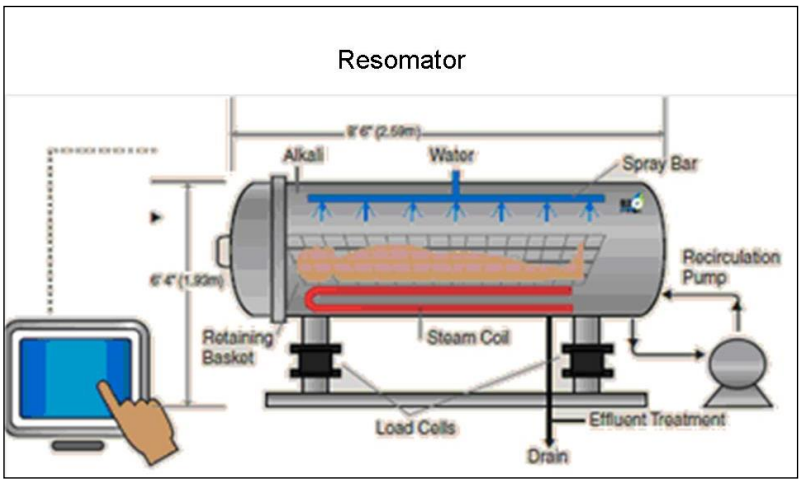


Figuur 6 Schematisch overzicht van het resomatieproces. Bron: persoonlijke communicatie met Resomation Ltd. in 2014.

Voorafgaand aan het resomatieproces dient het lichaam voorzien te zijn van kleding en een lijkhoes, die gemaakt zijn van eiwitten, zoals zijde, wol, leer of bepaalde biokunststoffen. Het proces start met het scheiden van het lichaam en de kist. De kist kan worden hergebruikt; er is aangenomen dat een kist 50 keer gebruikt wordt. Het lichaam, gewikkeld in de lijkhoes, wordt in een herbruikbare, roestvaststalen bak geplaatst. Resomation Ltd. is momenteel bezig een alternatief te zoeken voor deze stalen bak, maar heeft dit vooralsnog nog niet gemeld.

[17] De gemiddelde afstand tussen een volwassen kind (van 26 tot 50 jaar) en de ouders bedroeg hemelsbreed bijna 27 kilometer in 2002/2003((Michielin & Mulder, 2007) volgens (Kullberg, 2010)). We nemen aan dat deze afstand representatief is voor de afstand van crematorium (dikwijls in de buurt van de overledene) tot de nabestaande die de as zal verstrooien (vaak een naast familielid, zoals een kind).Voor de zekerheid ronden we de hemelsbrede 27 km naar boven af tot 30 km.

Dit geheel gaat de resomator in, welke ongeveer vergelijkbare afmetingen heeft als een crematieoven. Een technische tekening van een resomator is weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7 Technische tekening van een resomator.

In de resomator wordt het lichaam gewogen, waarna de exacte, voorberekende hoeveelheden water en loog worden toegevoegd. De binnenkant van de resomator wordt verwarmd tot ongeveer 150 ˚C (in tegenstelling tot 180°C, zoals vermeld in de vorige rapportage) door middel van gasgestookte stoom die door een spiralen buizensysteem wordt geleid. Resomation Ltd. merkte op ten behoeve van deze vervolgstudie dat het gasgebruik nog gebaseerd is op de gemeten hoeveelheden, die nodig zijn voor stoom boilers, zoals gebruikelijk in de Verenigde Staten. Maar ze zijn van plan in Europa meer efficiënte stoomgeneratoren te gebruiken. Hun verwachting is dus dat het gasverbruik in de toekomst lager zal zijn. De druk wordt opgevoerd tot 4 à 5 bar (in tegenstelling tot 10 bar, aangegeven in de vorige studie) om bij de vereiste temperatuur een optimale hydrolyse te bereiken. Een circulatiepomp pompt de vloeistof continu rond via sproeiers. Het verwarmen en recirculeren bij 150 °C duurt ongeveer 60 à 90 minuten.

Vervolgens wordt er koud water door de buizen gespoeld om de vloeistof af te koelen tot een acceptabele temperatuur, waarna de vloeistof uit de resomator wordt afgetapt. Een vernieuwing ten opzichte van het proces in 2010 is dat het warme water wordt opgevangen en bewaard in een geïsoleerde tank, om later tijdens de chemische reiniging te hergebruiken. Dit scheelt energie en tijd.
Hierna wordt de vloeistof in de Resomator afgevoerd. De vloeistof bevat zouten, suikers, kleine peptides en aminozuren. Resomation Ltd. vermeldde in 2010 dat de vloeistof een zuurgraad (pH) tussen 10,5 -11,5 zal hebben en een COD en BOD van gemiddeld respectievelijk 71.000 en 47.500 mg/l. Deze gegevens zijn geactualiseerd in 2014 naar een pH van 10,5-10,9 en een BOD/COD van 30.000/20.000 mg/l. Om deze pH te bereiken voegt Resomation Ltd. een zuur toe voordat het water afgevoerd wordt.
Resomation Ltd. meldt dat de afgetapte vloeistof zonder verdere behandeling op het riool geloosd kan worden.
Tijdens de rekenfase van de voorgaande studie was geen exacte informatie bekend over de samenstelling van deze vloeistof.

De samenstelling van het afvalwater is daarom gemodelleerd op basis van het lichaamsgewicht, minus de onderdelen van het resomatiepoeder, opgelost in 310 liter water. Vervolgens is dit in de “calculation tool for municipal wastewater treatment plant” van Ecoinvent (Doka, 2007) ingevoerd, die de emissies van dit proces berekende. Dit is een vrij grove benadering om de milieueffecten van het afvalwater te bepalen (Keijzer & Kok, Milieueffecten van verschillende uitvaartmogelijkheden, 2011). Na de berekeningen kregen de onderzoekers echter een wateranalyserapport (Anderson, 2007) toegestuurd door Resomation Ltd, welke als gevoeligheidsanalyse meegenomen kon worden. Dit resulteerde in de conclusie dat de waterbehandeling na het resomatieproces slechts een kleine tot geen invloed had op de totale milieubelasting van de uitvaart. In 2014 is er gebruik gemaakt van een nieuw wateranalyserapport (Fritz, 2011). In deze analyse zijn voornamelijk metalen geanalyseerd; zwavel-, fosfor- en stikstofverbindingen zijn niet meegenomen. De resultaten van de analyse zijn wederom ingevoerd in het waterreiningingsmodel van Doka (Doka, 2007).
Ter aanvulling van deze wateranalyse-informatie, is er de ervaring vanuit de praktijk. In de Verenigde Staten is het toegestaan om de vloeistof af te voeren via het riool. Op vragen van TNO aan Resomation Ltd, antwoordt de Managing Director Sandy Sullivan:

“Essentially heavy metals and volatiles and semi volatiles are all either non detectable or very low indeed compared to water quality limits. Needless to say they are of no concern to the water authorities. There are no dioxins or other worrying constituents.”

En:

“Resomation Ltd has demonstrated in three USA installations that the drained fluid can be released under permit on the sewage system without requiring further treatment.”

Afgaande op openbare informatie over rioolwaterregels (MilieuCentraal, 2014) zijn er op dit moment geen redenen om aan te nemen dat de vloeistof niet op het riool geloosd mag worden. Alvorens resomeren te introduceren in Nederland, moet dit allereerst gecontroleerd worden bij de betrokken waterzuiveringsinstantie.

Na het afvoeren van het water, blijven er stoffelijke resten over in de resomator, die nog gereinigd moeten worden.
In 2010 werd er 180 liter water toegevoegd, dat verwarmd werd tot 105˚C en 10 minuten op die temperatuur gehouden werd, waarna het werd gekoeld en afgevoerd. Anno 2014 wordt circa 200 liter van het warme (70 °C) water uit de isolatietank gebruikt om de stoffelijke resten te reinigen. 5 à 7 liter KOH wordt toegevoegd en het geheel wordt verwarmd tot 105 °C. Na twintig minuten op deze temperatuur, wordt de inhoud van de resomator gekoeld. De vloeistof van deze cyclus wordt afgevoerd en samengevoegd met de vloeistof uit de eerste cyclus. Hierbij wordt 2 à 3 liter zuur (98% H_2SO_4) toegevoegd om de pH te verlagen van 12 à 13 tot 10,5 à 10,9.
De overblijfselen worden verwijderd, gedroogd en afgevoerd. Metalen van chirurgische oorsprong, tandvullingen en metalen worden gerecycled. Volgens Resomation Ltd. kunnen de protheses hergebruikt worden; we zijn er bij de berekeningen van uit gegaan dat niet 100%, maar slechts 80% hergebruikt zou worden. Met de gevoeligheidsanalyses is geanalyseerd wat de invloed is op de totale milieuscore als er helemaal geen hergebruik plaatsvindt, maar enkel recycling van de metalen.

De beenderen zijn zo teer geworden dat ze op eenvoudige wijze vermalen kunnen worden tot een wit poeder; voor deze processor zijn dezelfde getallen aangenomen als voor de cremulator bij cremeren, hoewel het proces veel korter duurt dan bij de verwerking van overblijfselen van een crematie. Het droogproces is nog aan verandering onderhevig en Resomation Ltd verwacht binnenkort een nieuwe droger te testen. UCLA, die de resomator gebruiken, drogen de resten in de buitenlucht zonder extra energieverbruik en schijnen daarmee voldoende resultaat te behalen. In de berekeningen is het worst-case scenario aangenomen, te weten evenveel energieverbruik als voor een cremulator.
Het poeder gaat in een kan en vervolgens naar zijn laatste bestemming; verstrooiing boven land of zee, bewaren in een urn, of (als nieuwe optie) begraven worden als compost in een biologisch afbreekbare urn (oftewel versnelde opname in de bodem). Uiteindelijk zullen verstrooien boven land of zee waarschijnlijk de twee voornaamste opties zijn, met begraven als compost als een derde mogelijkheid. Omdat de opties anders zijn dan bij cremeren, kon niet dezelfde keuzeverhouding aangenomen worden. Er is bij de berekening uitgegaan van de door Resomation Ltd. voorgestelde verdeling van voorkeur voor de verschillende opties, namelijk 25% voor verstrooien boven land, 25% boven zee en 50% begraven als compost. In het vorige onderzoek (Keijzer & Kok, 2011) is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor het effect van de verandering van de gekozen verdeling tussen de bestemmingsopties. Daaruit bleek dat het geen verregaande gevolgen had welke verdeling er exact verondersteld werd. Daarnaast werd opgemerkt dat de aangenomen ratio realistisch leek, omdat de verwachting is dat er ongeveer dezelfde keuzes gemaakt zullen worden wat betreft de eindbestemming als bij cremeren, omdat het eindproduct redelijk vergelijkbaar is. Ook verwacht Resomation Ltd. dat degenen die kiezen voor resomeren, vanwege het een “duurzaam” imago, eerder voor de compostoptie zullen kiezen, omdat dit van de verschillende opties als de meest “duurzame” klinkt.

5 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de LCA berekeningen gepresenteerd en worden de milieueffecten van de drie verschillende uitvaarttechnieken vergeleken. Bij de interpretatie van de resultaten moet rekening gehouden worden met het volgende. Voor de twee bestaande technieken is de gemiddelde Nederlandse situatie in 2010 beschreven. In werkelijkheid is er sprake van een bandbreedte, zodat de 'best practice' beter kan scoren dan de resultaten weergeven. De nieuwe techniek, resomeren, is beschouwd alsof ze reeds volledig operationeel en geïntegreerd is in het Nederlandse uitvaartwezen. Beperkingen, wat betreft praktijkdata, betekenen een extra foutmarge in de resultaten.

5.1 Milieueffecten van de drie uitvaarttechnieken

5.1.1 De milieueffecten en zwaartepunten per effectcategorie

De milieueffecten van de drie uitvaarttechnieken worden getoond in Tabel 3 per effectcategorie. Hoe hoger de cijfers zijn, des te groter is de milieubelasting. Op een aantal plaatsen staat een negatief getal. Dit wordt veroorzaakt doordat het toepassen van recycling is berekend als een "vermeden effect" en daardoor de milieubelasting verlaagt.

Tabel 3 Milieueffecten van de drie uitvaarttechnieken, per overledene, berekend met de ReCiPe methode. De hoogste waarde per effectcategorie is gemarkeerd met rood, de laagste met groen. Wanneer de effecten minder dan 10% verschilden, is dit als niet significant beschouwd.

Effectcategorie	Eenheid	Begraven (gemiddeld)	Cremeren (gemiddeld)	Resomeren
Klimaatverandering	kg CO_2 eq	95	208	28
Aantasting ozonlaag	kg CFC-11 eq	9,5E-06	2,2E-05	1,0E-05
Humane toxiciteit	kg 1,4-DB eq	-1	-55	-104
Smogvorming	kg NMVOC	0,68	1,37	0,02
Fijnstofvorming	kg PM_{10} eq	0,26	0,36	-0,04
Ioniserende straling	kg U^{235} eq	16	13	18
Verzuring	kg SO_2 eq	0,7	0,9	-0,2
Vermesting (zoetwater)	kg P eq	0,17	0,19	0,06
Vermesting (zoutwater)	kg N eq	0,25	0,53	0,01
Terrestrische ecotoxiciteit	kg 1,4-DB eq	0,16	0,18	0,03
Zoetwater ecotoxiciteit	kg 1,4-DB eq	0,45	-0,12	-1,16
Zoutwater ecotoxiciteit	kg 1,4-DB eq	0,23	1,61	-1,15
Landgebruik (landbouw)	m^2a	67	67	7
Landgebruik (stedelijk)	m^2a	138	3	1
Landtransformatie (natuur)	m^2	0,03	0,04	0,00
Uitputting watervoorraden	m3	11	10	5
Uitputting mineralenvoorraden	kg Fe eq	5	5	-21
Uitputting fossiele grondstoffen	kg oil eq	26	67	10

Tabel 3 laat zien dat per overledene:

- resomeren het minste milieueffect heeft voor alle effectcategorieën, met uitzondering van ioniserende straling;

- begraven en cremeren beide het grootste milieueffect hebben voor vier categorieën (landgebruik landbouw, landtransformatie en uitputting water- en mineralenvoorraden);
- cremeren het grootste milieueffect heeft voor de meeste (tien) effectcategorieën;
- begraven het grootste milieueffect heeft voor drie categorieën;
- voor één milieueffectcategorie heeft begraven de laagste waarde, tezamen met resomeren: aantasting ozonlaag;
- voor één milieueffectcategorie heeft cremeren de laagste waarde: ioniserende straling.

De milieuscores van de effectcategorieën kunnen niet opgeteld worden tot een enkele milieuscore. Evenmin betekent een hoge score voor veel categorieën, dat de gehele milieuscore van een techniek hoger ligt dan de andere. De conclusies kunnen enkel voor iedere effectcategorie apart getrokken worden.
Per effectcategorie zijn er vaak een paar processen die een belangrijke rol spelen. Hierna wordt per milieueffectcategorie besproken welke processen de grootste rol spelen voor de drie uitvaarttechnieken.

Klimaatverandering
Cremeren levert de grootste bijdrage aan klimaatverandering, gevolgd door begraven met een circa tweemaal zo kleine bijdrage. De gasverbranding bij cremeren veroorzaakt het grootste deel van het effect. Bij begraven komt het grootste effect van het transport van de grafsteen. Gasverbranding vormt bij resomeren ook de grootste bijdrage.

Aantasting ozonlaag
De aantasting van de ozonlaag is bij cremeren vele malen hoger dan bij de andere technieken. Het grootste effect bij cremeren en resomeren wordt veroorzaakt door het transport van gas en het daarbij optreden van emissies van CFK's, waaronder broomchlorodifluoromethaan en aanverwante stoffen. Bij begraven is de grootste veroorzaker van dit effect het transport van de grafsteen.

Humane toxiciteit
Humane toxiciteit heeft een negatieve waarde bij alle drie de uitvaarttechnieken. Dit wordt veroorzaakt door de milieucompensatie die recyclen oplevert. Bij begraven treedt de minste compensatie op en is er wel enige toxiciteit ten gevolge van andere processen; netto is de humane toxiciteitswaarde bijna nul bij begraven. Dit komt doordat er niet alleen negatieve milieuscores voor humane toxiciteit zijn, maar ook optredende milieueffecten ten gevolge van bijvoorbeeld het transport van de grafsteen. Daarnaast wordt er bij begraven minder gerecycled dan bij de andere technieken. De modellering en aannames van de recyclingprocessen zullen aan bod komen bij de gevoeligheidsanalyses.
Bij cremeren wordt het toxiciteitseffect voornamelijk veroorzaakt door koperproductie voor elektronica en personenvervoer voor de asverstrooiing. Bij resomeren is het grootste effect (-100 kg 1,4-DB eq) afkomstig van de metaalrecycling.

Smogvorming, fijnstofvorming, verzuring en vermesting (zoutwater)
Deze effectscores zijn het grootst bij cremeren, ten gevolge van de rookgassen[18] en, in geval van vermesting, de asverstrooiing.
De effecten bij begraven zijn tweemaal zo klein en worden voornamelijk veroorzaakt door transportprocessen in de gehele keten, waaronder die van de steen, en door emissies tijdens de katoenproductie (voor verzuring). Bij resomeren zijn de effecten voor fijnstofvorming en verzuring negatief, dankzij de vermeden milieueffecten die toegerekend worden aan de recyclingprocessen. Dankzij de recyclingprocessen zijn de effecten voor smogvorming en vermesting (zoutwater) bijna nul, maar treedt er nog een relatief klein milieueffect op vanwege personenvervoer voor de asverstrooiing.

Ioniserende straling
Resomeren heeft de hoogste waarde voor ioniserende straling, afkomstig van de productieprocessen van kaliloog. Deze waardes verschillen echter weinig met die van begraven en cremeren. Bij begraven en cremeren zijn processen tijdens de kistproductie de belangrijkste veroorzakers van de milieuscore voor ioniserende straling. Tijdens de winning van de natuursteen voor het grafmonument treden ook milieueffecten op, maar deze effecten worden grotendeels gecompenseerd door de recycling van de steen na de grafrustperiode.

Vermesting (zoetwater) en zoutwater ecotoxiciteit
Vermesting van zoetwater en toxiciteit voor zoutwater ecosystemen zijn het hoogst bij cremeren, want zij worden sterk beïnvloed door de asverstrooiing. Het resomatieproces heeft ook een kleine milieubelasting ten gevolge van de poederverstrooiing en het transport daarvoor, maar de recyclingprocessen compenseren deze milieu-impact; het uiteindelijke milieueffect is netto vrij klein (negatief of bijna nul) voor deze categorieën. De belangrijkste factoren bij begraven voor (zoetwater) vermesting is de vertering van het lichaam in de grond. De milieuscore voor zoutwater ecotoxiciteit bij begraven wordt grotendeels veroorzaakt door de nikkelproductie voor roestvrijstaal.

Terrestrische ecotoxiciteit, zoetwater ecotoxiciteit, landgebruik (landbouw), uitputting watervoorraden
De katoenen kistbekleding en lijkhoes (bij begraven en cremeren) zijn de belangrijkste veroorzakers van deze milieueffecten, omdat de productie van katoen milieubelastend is. Bij resomeren is dit effect kleiner dan bij cremeren en begraven, omdat is aangenomen dat bij resomeren de kist meermalig gebruikt kan worden en omdat de lijkhoes van ander materiaal gemaakt wordt; het effect voor terrestrische en zoetwater ecotoxiciteit en landbouw landgebruik komt voornamelijk door de speciale katoenen kleding van de overledene. Voor landgebruik (voor landbouw) scoort de houtwinning voor de kist (40 m^2/overledene) overigens duidelijk hoger dan de katoenproductie (9 m^2/overledene).
Bij cremeren en resomeren is er een efficiënte recycling van kleine metalen, waaronder goud, waaraan een compenserend (negatief) milieueffect wordt toegekend aan de milieueffectcategorie zoetwater ecotoxiciteit. Daardoor komen cremeren en resomeren netto uit op een negatieve milieuscore voor deze categorie.

[18] Dat de rookgassen na de reiniging toch nog milieu-impact hebben, klinkt wellicht paradoxaal, maar is heel goed verklaarbaar: tijdens de reiniging worden de toxische stoffen (zoals kwik) verwijderd, zodat “schone” rook overblijft. Deze rook bevat echter nog wel stoffen die bijdragen aan andere milieueffecten, zoals CO_2 en stikstofverbindingen.

Dit resultaat wordt dus sterk bepaald door de aannames omtrent de recyclingverschillen tussen de drie technieken. Met de gevoeligheidsanalyse wordt dit nader onderzocht.
Voor de andere drie effectcategorieën hebben begraven en cremeren een ongeveer even hoge waarde. Bij resomeren is deze waarde veel lager, omdat de kist hergebruikt kan worden, aldus Resomation Ltd.
Het is opvallend dat resomeren de laagste waarde voor waterdepletie heeft, ondanks het feit dat er bijna 2000 liter per overledene wordt gebruikt. De productie van een kleine hoeveelheid katoen heeft dus een grotere impact dan het gehele resomatieproces. Hierbij moet opgemerkt worden dat katoen bekend staat om zijn grote waterverbruik. Gedurende de productie van een kilo gewoven katoen[19] wordt ruim 5000 liter water verbruikt.

Landgebruik (stedelijk)
Voor het stedelijk landgebruik is grafrust de enige factor die er werkelijk toe doet; cremeren en resomeren hebben bijna geen landgebruik; voor één begrafenis is 138 m^2a (oppervlakte maal tijdsduur) nodig. Dit toont tevens aan hoe klein de impact is van een urnenmuur in vergelijking tot begraven. Een kleine illustratie:

- stel een urnenmuur is 10 meter lang
- stel langs deze muur is ongeveer 2 meter aan loop- en bloemenruimte
- totale oppervlakte is dan 20 m2
- stel na elke 50 cm in de muur kan één urn geplaats worden (dit is een vrij pessimistisch scenario; urnen worden vaak ook boven elkaar in een urnenmuur geplaatst);
- in dit scenario kunnen er dus 20 urnen op 20 m2 staan;
- dus 1 m2 per persoon.

Volgens bovenstaand scenario zou een urn 138 jaar moeten blijven staan om eenzelfde landgebruik te vertegenwoordigen als een begraven persoon. Dit toont aan dat de landimpact van een urn in een urnenmuur vele malen lager is dan die van een gemiddeld graf.

Landtransformatie (natuur)
Alle drie de uitvaarttechnieken hebben lage waardes voor landtransformatie in vergelijking tot de hoeveelheid oppervlakte die gebruikt wordt (zie vorige punt); de transformatie is voor alle drie de gevallen minder dan 1 m^2. De “grootste bijdrage” is hier niet relevant.

Uitputting metalenvoorraden
De uitputting van metalenvoorraden is, net als voor katoen, gerelateerd aan de kist. De belangrijkste bijdrage aan deze effectcategorie wordt namelijk bepaald door de metalen handgrepen aan de kist. Omdat bij resomeren de kist verondersteld wordt hergebruikt te worden, draagt de kist amper bij aan het totale effect en is voornamelijk het (negatieve) vermijdingseffect van recycling te zien.

Uitputting fossiele grondstoffen
Cremeren heeft de hoogste waarde in deze effectcategorie, veroorzaakt door het gebruik van aardgas. Begraven heeft een ongeveer tweemaal zo lage waarde als cremeren; dit wordt grotendeels veroorzaakt door het transport van het grafmonument. Bij resomeren is er slechts weinig transport en gasverbruik.

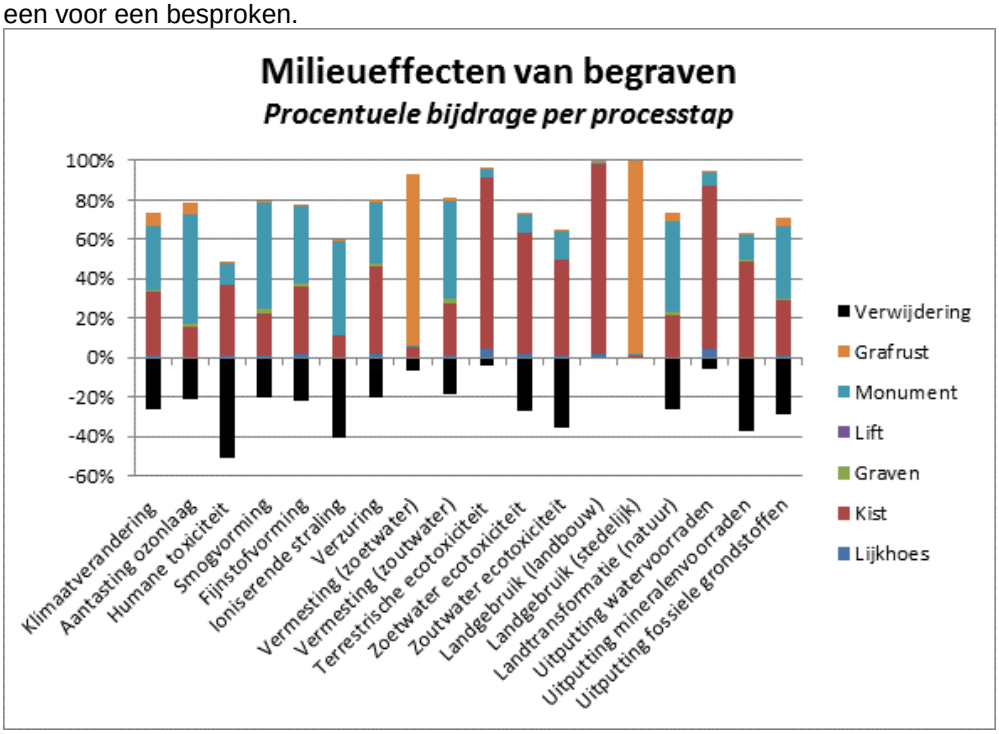
[19] Record geanalyseerd door middle van de ReCiPe midpoint methode. Gebruikt record van Ecoinvent is *Textile, woven cotton, at plant/GLO.*

Alle effectcategorieën tezamen

De resultaten, die hierboven genoemd worden leiden tot de verwachting dat de netto milieubelasting van de uitvaarttechnieken het kleinst is voor resomeren. Cremeren heeft een hogere milieubelasting dan begraven voor meer effectcategorieën en dit zou kunnen leiden tot een grotere netto milieubelasting voor cremeren. Echter, omdat de verschillende effectcategorieën uitgedrukt worden in verschillende eenheden, is het niet mogelijk om ze op te tellen en kwantitatieve uitspraken te doen over de totale milieu-impact van de verschillende uitvaarttechnieken.

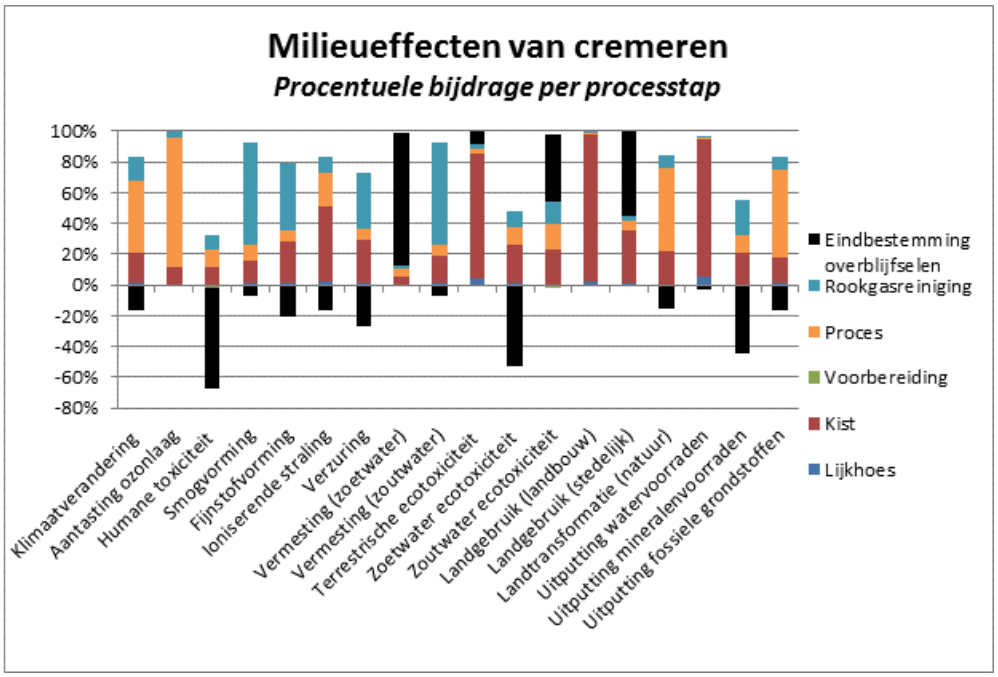
5.1.2 Milieueffecten per processtap

Ter aanvulling op de zwaartepuntenanalyse uit de vorige paragraaf, is tevens gekeken welke processtappen de grootste invloed hebben per effectcategorie. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 8 tot en met Figuur 10 en worden hierna kort een voor een besproken.



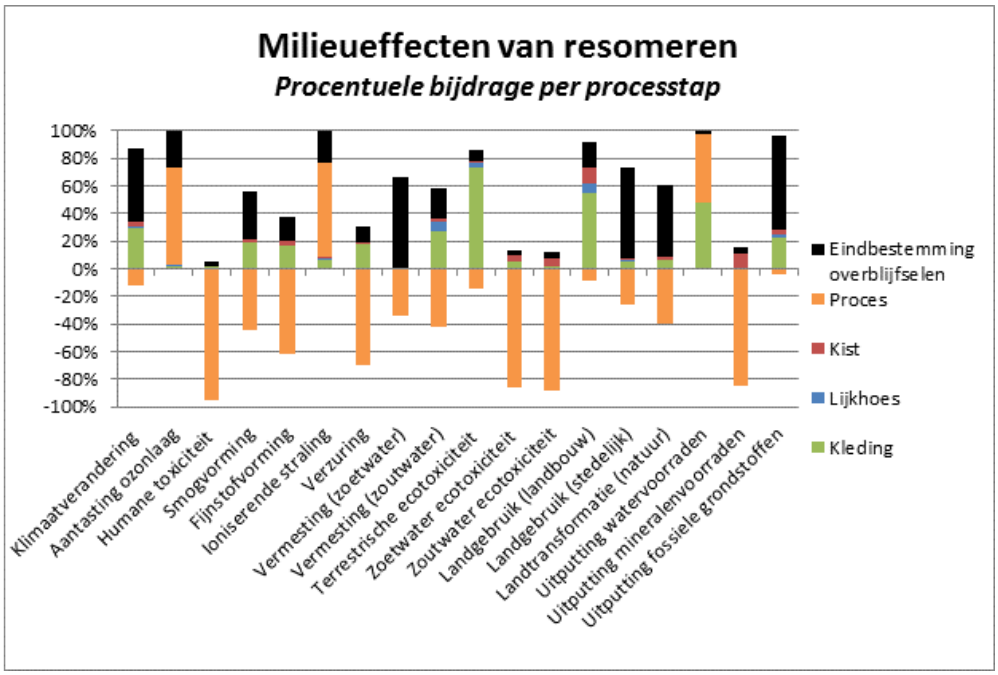
Figuur 8 Milieueffecten van begraven, per processtap. Recyclingprocessen zijn meegenomen in de processtap “Verwijdering”.

Figuur 8 toont dat de het monument, de kist en de verwijderingsfase voor de meeste effectcategorieën een grote invloed hebben. Grafrust domineert voor twee effectcategorieën: zoetwatervermesting en stedelijk landgebruik. Wat nog niet eerder uit de resultaten bleek, maar nu duidelijk te zien is, is dat de impact van de lift, het graven en de lijkhoes verwaarloosbaar klein zijn in vergelijking tot de andere processtappen.



Figuur 9 Milieueffecten van cremeren, per processtap. Recyclingprocessen zijn meegenomen in de processtap “Eindbestemming overblijfselen”.

Figuur 9 toont een divers beeld wat betreft de verschillende processtappen en hun milieueffecten. De eindbestemming van overblijfselen heeft een grote impact, zowel voor de negatieve as van de grafiek (ten gevolge van recycling) voor twee categorieën, als ook een grote milieubijdrage van zoetwater vermesting, zoutwater ecotoxiciteit en stedelijk landgebruik. Deze laatste wordt veroorzaakt doordat de totale impact van deze categorie al erg laag is (2 m^2a voor cremeren in vergelijking tot 138 m^2a bij begraven; zie Tabel 3).
Het crematieproces zelf heeft een grote impact voor klimaatverandering, aantasting ozonlaag en fossiele brandstoffen; dit is geen verrassing, gezien het hoge aardgasverbruik. Bij landtransformatie speelt hetzelfde als bij stedelijk landgebruik; deze categorie heeft een lage totaalwaarde en daardoor geven kleine (absolute) bijdrages op de procentuele schaal een uitvergroting.
De grote impacts van de (gereinigde) rookgasemissies zijn reeds besproken in de vorige paragraaf, evenals de grote impact van de kist voor bepaalde effectcategorieën, die gerelateerd zijn aan katoen- en houtproductie.
De lijkhoes en de voorbereidende processen zijn nog niet eerder benoemd, en blijken een kleine rol te spelen in vergelijking tot de andere processtappen.



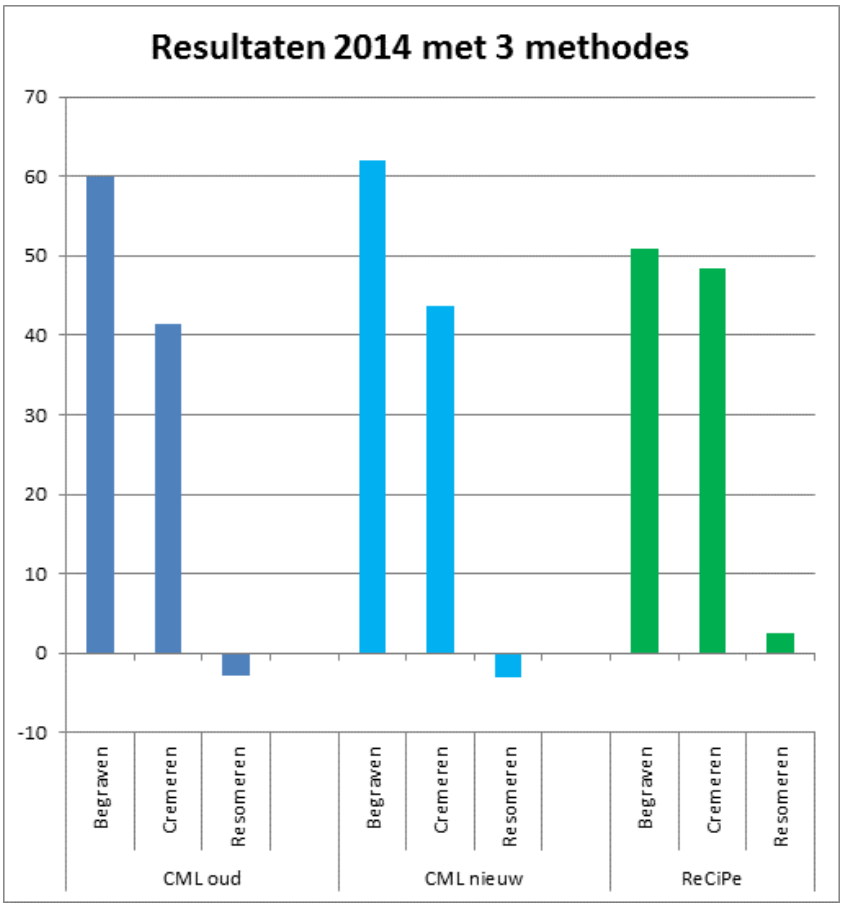
Figuur 10 Milieueffecten van resomeren, per processtap. Recyclingprocessen zijn meegenomen in de processtap “Proces”.

Figuur 10 toont duidelijk waar de milieuwinst bij resomeren vandaan komt; het proces zelf, en dan met name de recyclingprocessen, heeft een belangrijke (negatieve) bijdrage voor een groot aantal effectcategorieën. De eindbestemming van de overblijfselen, met name ten gevolge van verstrooiing, en de speciale katoenen kleding zijn de twee belangrijkste factoren die milieubelasting veroorzaken. De lijkhoes en de kist hebben amper impact in vergelijking tot de andere processtappen.

5.1.3 *De overall milieu-impact, uitgedrukt in schaduwprijzen*

In dit hoofdstuk wordt de schaduwprijzenmethode gebruikt om de totale milieu-impact van de verschillende uitvaarttechnieken te berekenen en om te onderzoeken welke onderdelen het sterkst bijdragen aan deze impact. Hierbij is een wegingsstap toegepast, en daarmee valt dit gedeelte van het onderzoek niet onder de ISO-norm. De bijdragen van alle effectcategorieën zijn uitgerekend voor alle materialen en (deel)processen van de drie uitvaarttechnieken. Een compleet overzicht van de resultaten is gegeven in Bijlage E. In de voorgaande studie is gerekend met de CML-methode, welke in de tussentijd een update heeft ondergaan en een opvolger heeft gekregen. In de grafieken zullen we steeds de CML “oud” en CML “nieuw” tonen om te laten zien in hoeverre de update van de schaduwprijzenset van invloed is op de uitkomsten; daarnaast zullen we de resultaten van de berekende impact met de ReCiPe-methode tonen.

De totale milieu-impact, uitgedrukt als schaduwprijs, voor de uitvaarttechnieken is weergegeven in Figuur 11. De twee varianten van de CML-methode zijn getoond in blauw, de actuele ReCiPe-methode in groen.



Figuur 11 Totale milieu-impact van de bestaande uitvaarttechnieken begraven en cremeren en de nieuwe uitvaarttechniek resomeren, uitgedrukt in schaduwprijzen. De milieu-impact is berekend met 3 verschillende methodes: de CML-methode zoals gebruikt in het oude onderzoek (2011), de update van de CML-methode anno 2014 en de meest actuele methode, ReCiPe.

De resultaten van Figuur 11 maken duidelijk dat de totale milieu-impact (als schaduwprijs):

- van begraven het grootst is, gevolgd door cremeren, met beide varianten van de CML-methodes;
- van begraven en cremeren veel verschilt volgens de CML-methode (30%),
- van begraven en cremeren niet significant verschilt volgens de ReCiPe-methode (5%);
- van begraven en cremeren vele malen hoger is dan resomeren.

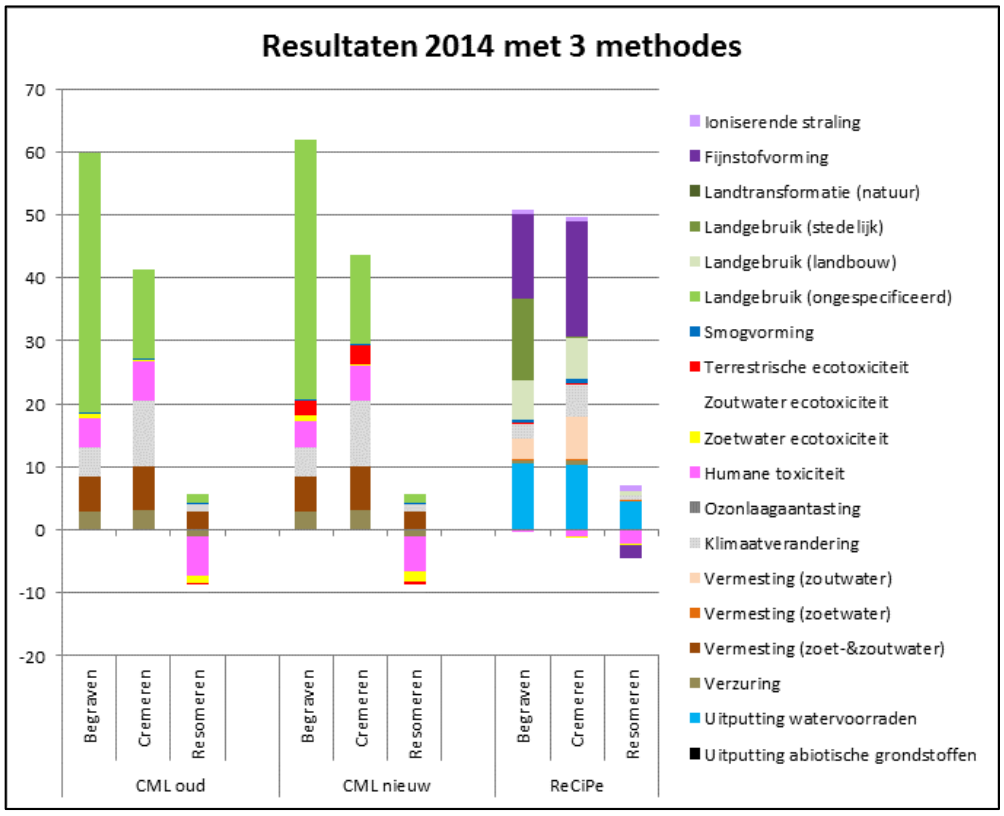
De meest opvallende conclusie is dat resomeren een veel lagere milieu-impact heeft dan begraven en cremeren. Dit werd ook in het voorgaande onderzoek geconcludeerd (Keijzer & Kok, 2011). Echter, het duidelijke verschil tussen begraven en cremeren, is in tegenstelling tot eerdere conclusies, niet significant wanneer geanalyseerd wordt met de ReCiPe-methode. Gezien de variaties en onzekerheden in bepaalde belangrijke parameters (bijvoorbeeld de exacte hoeveelheid gasgebruik en de grafrusttermijn), is het met de nieuwste resultaten niet met zekerheid te zeggen welke van beide een hogere totale milieu-impact heeft. Het is daarom belangrijk om ook te kijken naar de verschillende milieueffecten.

In Tabel 4 zijn de milieueffecten met de ReCiPe-schaduwprijzen per effectcategorie weergegeven voor de drie uitvaarttechnieken.

Daarnaast zijn de resultaten van alle schaduwprijzen, berekend met de drie methodes voor de drie uitvaarttechnieken, weergegeven in Figuur 12.

Tabel 4 Schaduwprijzen per effectcategorie voor de drie uitvaarttechnieken, op basis van de ReCiPe midpoint methode . De schaduwprijs voor uitputting fossiele grondstoffen en voor zoutwater ecotoxiciteit (zie Tabel 2) is 0 €/kg, en daarom is de waarde voor elke uitvaarttechniek ook 0.

Effectcategorie	**Begraven**	**Cremeren**	**Resomeren**
Klimaatverandering	2,37	5,20	0,70
Aantasting ozonlaag	0,00	0,00	0,00
Humane toxiciteit	-0,02	-1,13	-2,15
Smogvorming	0,40	0,80	0,01
Fijnstofvorming	13,44	18,37	-2,07
Ioniserende straling	0,66	0,55	0,76
Verzuring	0,45	0,56	-0,14
Vermesting (zoetwater)	0,31	0,34	0,11
Vermesting (zoutwater)	3,18	6,59	0,14
Terrestrische ecotoxiciteit	0,20	0,23	0,04
Zoetwater ecotoxiciteit	0,02	0,00	-0,05
Zoutwater ecotoxiciteit	0,00	0,00	0,00
Landgebruik (landbouw)	6,26	6,31	0,62
Landgebruik (stedelijk)	13,00	0,32	0,09
Landtransformatie (natuur)	0,00	0,00	0,00
Uitputting watervoorraden	10,58	10,35	4,53
Uitputting mineralenvoorraden	0,00	0,00	0,00
Uitputting fossiele grondstoffen	0,00	0,00	0,00
Totaal milieueffect (als schaduwprijs)	**50,83**	**48,47**	**2,59**



Figuur 12 Bijdragen milieu-impact, uitgedrukt in schaduwprijzen, van de drie uitvaarttechnieken: begraven, cremeren en resomeren. De bijdragen zijn berekend met 3 verschillende methodes: de CML-methode zoals gebruikt in het oude onderzoek (2011), de update van de CML-methode anno 2014 en de meest actuele methode, ReCiPe.

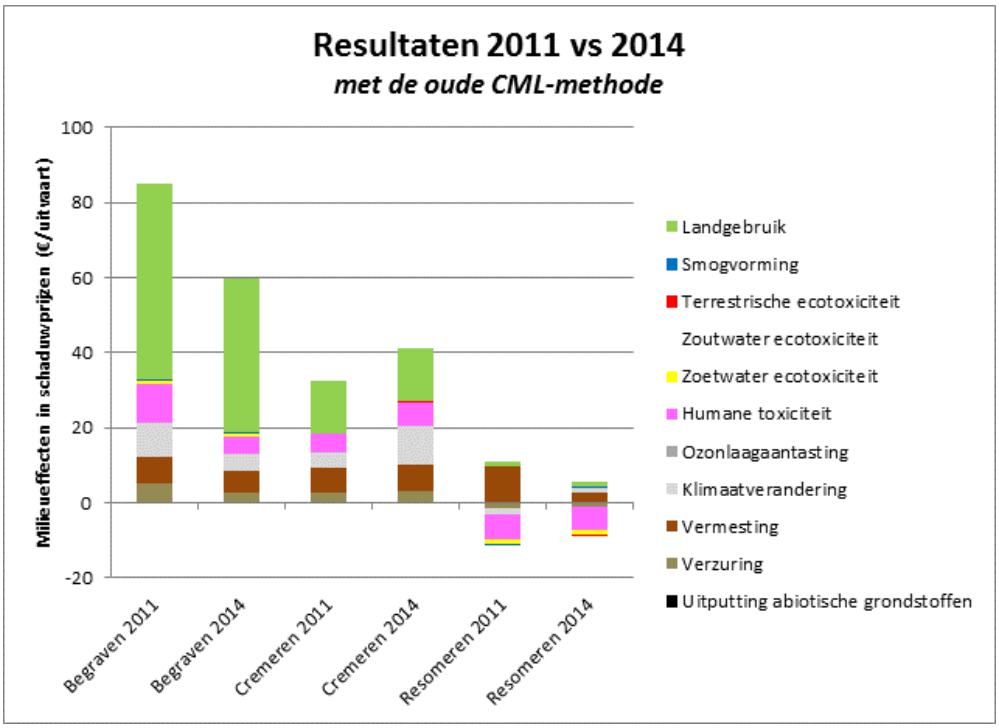
De volgorde van de effectcategorieën die het meest bijdragen aan het totale milieueffect per uitvaarttechniek, berekend met de Recipe-methode, is als volgt (een asterisk* betekent dat de bijdrage negatief is):

- Begraven: fijnstofvorming, stedelijk landgebruik, uitputting watervoorraden, …
- Cremeren: fijnstofvorming, waterdepletie, vermesting (zoutwater), …
- Resomeren: uitputting watervoorraden, fijnstofvorming*, humane toxiciteit*, …

Opvallend is dat, gegeven de schaduwprijzen-weegmethode, bij resomeren de milieueffecten bijna geheel worden gecompenseerd door de milieuvoordelen. Bij cremeren en in mindere mate bij begraven, vindt ook compensatie plaats, maar daar blijft een netto grotere milieubelasting over. Hierop wordt verder in gegaan bij de gevoeligheidsanalyses.

5.1.4 Vergelijking ten opzichte van oude resultaten

In de voorgaande paragrafen zijn de resultaten van de geactualiseerde analyse besproken. Omdat het een update betreft, is het tevens relevant om te tonen welke grote veranderingen hebben plaatsgevonden ten gevolge van de gegevensupdate. Daarom zijn de onderzoeksgegevens van 2011 en 2014 doorgerekend met dezelfde methode als die in het voorgaande onderzoek werd gebruikt (de “verouderde” CML-variant). Het resultaat is te zien in Figuur 13.



Figuur 13 Milieueffecten, uitgedrukt in schaduwprijzen, van de drie uitvaarttechnieken: begraven, cremeren en resomeren, zoals berekend in de voorgaande (2011) studie en in deze geactualiseerde studie (2014). Voor de vergelijking is dezelfde methode gebruikt als in de voorgaande studie: de destijds gehanteerde CML-methode.

Figuur 13 toont waar de grote veranderingen hebben plaatsgevonden ten opzichte van de voorgaande studie (Keijzer & Kok, 2011).
De volledige impact van begraven is lager na de update dan in de voorgaande studie. De grootste oorzaak hiervan is dat de grafrusttermijn, na een zorgvuldige revisie, lager uitkwam dan eerst was verondersteld. Dit is terug te zien voor meerdere categorieën, die beïnvloed worden door de grafrusttermijn, zoals klimaatverandering ten gevolge van begraafplaatsonderhoud. Het grootste verschil is echter te zien bij landgebruik. Daarnaast is er nog een verandering die gevolg heeft voor meerdere effectcategorieën. Het betreft de aanname dat bij begraven een deel van de metalen wordt gerecycled, in plaats van geen recycling. Dit verklaart mede een afname bij humane toxiciteit. Op beide oorzaken zal nader ingegaan worden bij de gevoeligheidsanalyses.
De impact van cremeren is licht gestegen ten opzichte van de voorgaande studie, maar wel vooral voor klimaatverandering (160%) en ozonlaagdepletie (240%). De voornaamste verandering is een grotere en andere hoeveelheid aardgasverbruik. In de gevoeligheidsanalyses zal dit onderwerp nader aandacht krijgen.
In het voorgaande onderzoek was vermesting de belangrijkste impactcategorie bij resomeren; dit werd veroorzaakt door de afvalwaterbehandeling na de resomatie. In de nieuwe analyse is gebruik gemaakt van een nieuw wateranalyserapport, waarin de aanwezigheid van metalen in het afvalwater is gemeten, maar niet van andere stoffen. We zullen het effect van deze verschillende analyses verder onderzoeken met een gevoeligheidsanalyse.

Figuur 13 toont dus waar de grootste veranderingen ten opzichte van de vorige studie zijn opgetreden.

In de meeste gevallen betreft het een verbetering van de vroegere gegevens, en zijn de nieuwe resultaten betrouwbaarder dan die van de voorgaande studie. In een aantal gevallen zijn er belangrijke gevoeligheden geconstateerd, welke nader onderzocht worden in de volgende paragraaf.

5.2 Gevoeligheidsanalyses

5.2.1 Overzicht

Bij gevoeligheidsanalyses wordt de gevoeligheid van de resultaten voor variaties in systeemparameters geanalyseerd. Hiermee kan inzicht gegeven worden in de betrouwbaarheid en variatie van de resultaten. Gevoeligheidsanalyses kunnen uitgevoerd worden op onderwerpen waarbij onzekerheden zijn in de gehanteerde methodiek, gemaakte keuzes en de invoergegevens of waarbij grote bijdragen het beeld bepalen of trends een rol spelen.
In de bespreking van de resultaten zijn de belangrijkste onderwerpen voor de gevoeligheidsanalyses reeds naar voren. Voor deze studie zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor één algemeen onderwerp en voor één onderwerp per uitvaarttechniek. Dit zijn de volgende onderwerpen:

1) Recycling
2) Grafrustperiode
3) Aardgasverbruik
4) Afvalwaterbehandeling

De resultaten van deze gevoeligheidsanalyses worden verder besproken in de volgende secties. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk worden kort overige gevoeligheden besproken, die verder niet kwantitatief onderzocht zijn.
De gevoeligheid voor de bestemming van de overblijfselen, de samenstelling van het afvalwater bij resomeren, de hulpbronnen bij resomeren, metaalrecycling en omhulling zijn reeds geanalyseerd in de voorgaande studie.

5.2.2 Gevoeligheidsanalyses van de vorige studie

In de vorige studie (Keijzer & Kok, 2011)zijn reeds een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd, welke ook voor het huidige onderzoek informatief zijn. Daarom worden de conclusies van het vorige onderzoek hier kort herhaald.

Belangrijke parameters met betrekking tot de milieueffecten [in het vorige onderzoek] zijn de bestemming van de overblijfselen, de samenstelling van het afvalwater bij resomeren en het gebruik van hulpbronnen in de processen. Er is een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor deze parameters om het effect van variaties in de aannamen op het milieueffect vast te stellen.

De analyse van het milieueffect van de uiteindelijke bestemming van de overblijfselen laat grote verschillen zien tussen de uitvaartmogelijkheden. Bij resomeren zijn de verschillen niet erg groot, omdat er een redelijk gemiddelde verdeling van de opties ontworpen kan worden, aangezien de geresomeerde overblijfselen qua uiterlijk vergelijkbaar zijn met crematieas, en vergelijkbare asbestemmingen verwacht kunnen worden.

De samenstelling van het afvalwater bij resomeren is moeilijk aan te geven, omdat de beschikbare informatie met betrekking tot de samenstelling van een lichaam en de verschillende massastromen verschillen. In de oorspronkelijke berekeningen zijn de metalen en mineralen evenredig verdeeld over de overblijfselen en het water. Het resultaat van de gevoeligheidsanalyse met betrekking tot andere verdelingen is dat de impact van resomeren kan liggen tussen circa 4 Euro en ongeveer –2 Euro.

Een toename in het gebruik van de belangrijkste hulpbronnen (kaliumhydroxide) met 50% leidt voor resomeren tot bijna een verdubbeling van het totale milieueffect.

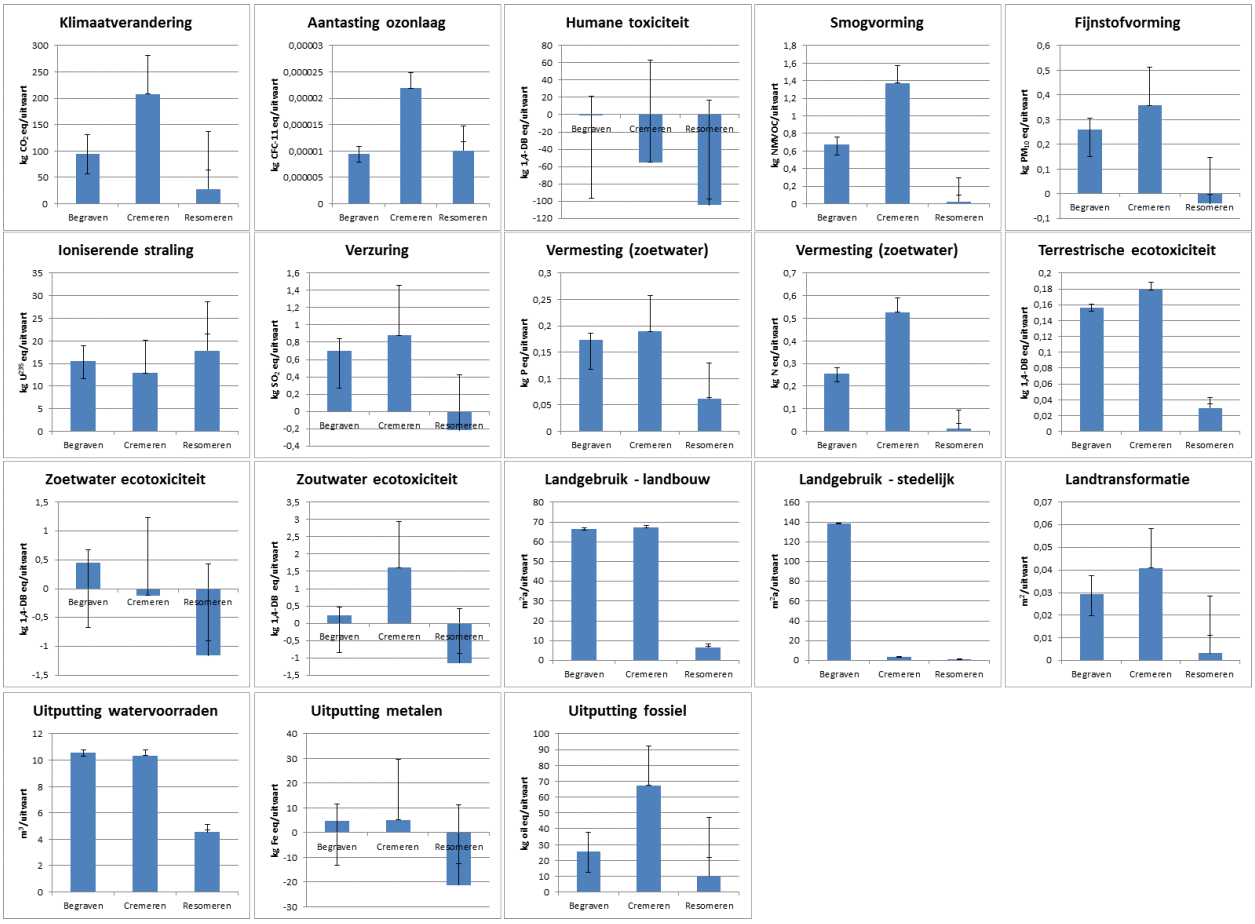
De resultaten van alle gevoeligheidsanalyses tezamen leiden tot de conclusie dat de aangenomen variaties in de processen niet leiden tot verandering van de algemene conclusies.

5.2.3 Recycling

In de vorige studie was er een groot verschil tussen de drie technieken. Terwijl bij begraven geen recycling verondersteld werd, werd bij cremeren 100% recycling verondersteld en bij resomeren zelfs gedeeltelijk hergebruik van de materialen, hetgeen nog meer milieuvoordeel oplevert dan bij recycling. In deze geactualiseerde studie is gedeeltelijke recycling ook meegenomen bij begraven. Zodoende hebben de drie technieken een bepaalde vorm van recycling, hoewel licht verschillend.

Deze verschillen tonen een schijnbare precisie; het is niet precies bekend hoe groot deze percentages zijn. Daarnaast zou men de vraag kunnen stellen of het recyclen van niet-menselijke metalen eigenlijk wel in de LCA van een menselijk lichaam meegenomen moet worden.

Om de resultaten in een breder licht te plaatsen, wordt er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij alle technieken met een 0% en 100% recyclingscenario worden beschouwd. Voor het 0%-scenario nemen we aan dat de metalen op de stort terecht komen tezamen met het reguliere afval. Het resultaat wordt getoond in Figuur 14.



Figuur 14 Resultaten van de gevoeligheidsanalyse voor recyclingprocessen, per effectcategorie. De balken geven de standaardscenario's weer, met gedeeltelijke recycling voor begraven, 100% recycling voor cremeren en deels recycling, deels hergebruik bij resomeren. De foutbalken geven de waardes aan van de gevoeligheidsscenario's met respectievelijk 0% en 100% recycling. Omdat bij resomeren het basisscenario uitgaat van hergebruik, is het 100% recyclingscenario in feite een "verslechtering"; vandaar dat er twee foutbalken *boven* de standaardbalk te zien zijn.

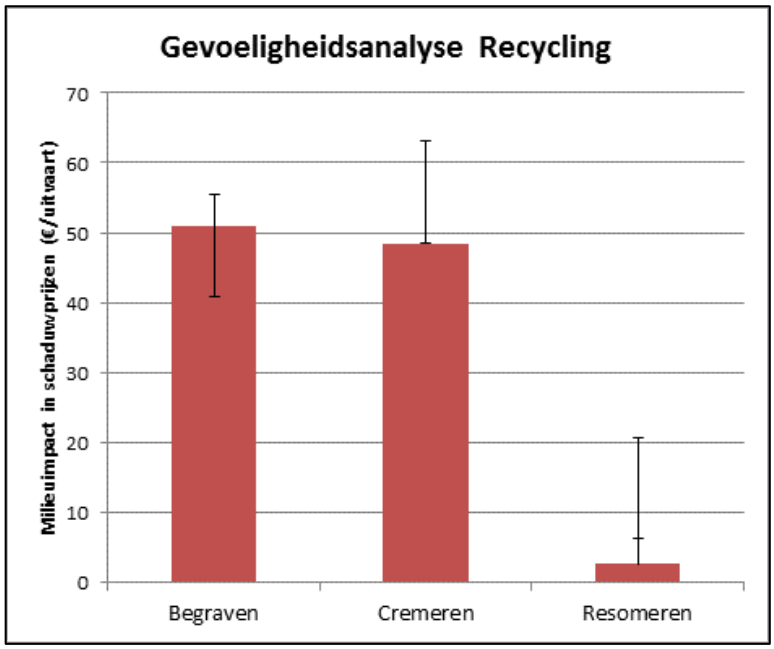
Zoals in het bijschrift reeds toegelicht wordt, leidt zowel het 0% als het 100% recyclingscenario tot een verhoging voor de milieueffecten van resomeren. Voor een deel van de effectcategorieën betekent het dat de milieueffecten van resomeren opeens wel in de buurt komen van de andere technieken; vooral voor klimaatverandering is dit duidelijk het geval. Alleen voor de categorie ioniserende straling is de milieudruk van resomeren duidelijk hoger dan de milieudruk van de andere twee technieken; echter dat was reeds zo voor het basisscenario. Afgezien van deze categorie, wordt de milieudruk van resomeren echter nergens significant hoger dan die van de andere twee technieken.

Bij cremeren is alleen een verhoging van de effecten te zien bij het scenario voor 0% recycling; het basisscenario is immers reeds 100% recycling. Minder recyclingefficiëntie zou in ieder geval leiden tot een verhoging van de milieudruk van cremeren voor iedere effectcategorie.

Bij begraven kan het beide kanten op veranderen; de huidige situatie betreft een gedeeltelijke recycling. Als recycling bij begraven hoger zou worden richting 100%, zou de milieuscore van een aantal categorieën fors verlaagd worden, bijvoorbeeld van humane toxiciteit en zoet- en zoutwater ecotoxiciteit.

De foutbalken in de figuren tonen aan dat de recyclingprocessen een grote impact hebben op de interpretatie van de resultaten. De aannames die gedaan zijn voor de recyclingfractie, bij alle drie de technieken, kan de scores van een aantal effectcategorieën sterk veranderen. Zowel bij cremeren, als bij resomeren kunnen de milieuscores bijna alleen maar hoger worden, vergeleken met het standaardscenario, welke in feite het best case scenario is. Bij begraven zijn de aannames erg onzeker en kunnen de scores in werkelijkheid zowel hoger als lager uitvallen.
Samenvattend kan er gesteld worden, dat de recycling bij cremeren zeer efficiënt verloopt, bij resomeren wellicht overschat wordt en bij begraven zowel beter als slechter zou kunnen dan in dit rapport gepresenteerd.

Om te bekijken wat deze recyclingscenario's betekenen voor de totale milieu-impact van de drie technieken, is deze gevoeligheidsanalyse ook uitgevoerd met de schaduwprijzenmethode. Het resultaat wordt getoond in Figuur 15.



Figuur 15 Resultaat van de gevoeligheidsanalyse voor recycling. De rode balken geven de standaardscenario's weer, met gedeeltelijke recycling voor begraven, 100% recycling voor cremeren en deels recycling, deels hergebruik voor resomeren. De foutbalken geven de waardes aan van de gevoeligheidsscenario's met respectievelijk 0% en 100% recycling. Omdat bij resomeren het basisscenario uitgaat van hergebruik, is het 100% recyclingsscenario in feite een "verslechtering"; vandaar dat er twee foutbalken *boven* de standaardbalk te zien zijn.

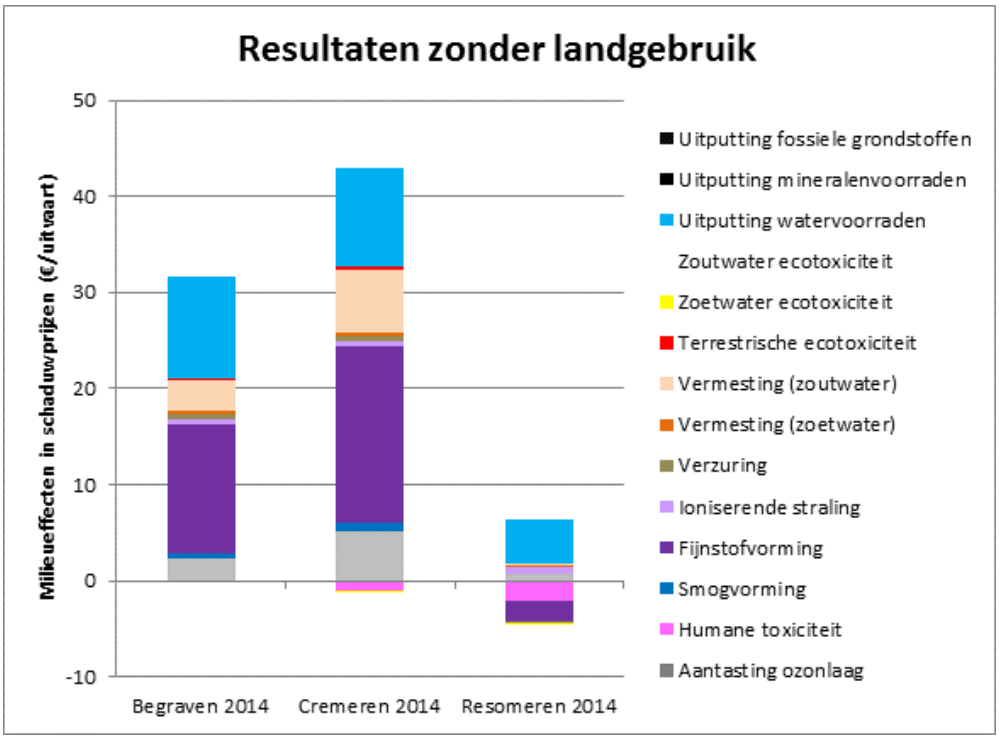
De foutbalken in Figuur 15 laten zien welke invloed de recyclingprocessen op de scores hebben. De belangrijkste conclusie van de resultaten, dat resomeren de laagste milieu-impact heeft van de drie uitvaarttechnieken, blijft kloppen voor alle scenario's. Wel wordt de impact van resomeren veel groter als recycling niet meegenomen wordt in de analyses (hoogste foutbalk) en een beetje groter als niet hergebruik, maar recycling verondersteld zou worden (laagste foutbalk bij resomeren).
De conclusies wat betreft de vergelijking van begraven en cremeren veranderen wel met de gevoeligheidsscenario's.

Bij 0% recycling (de hoogste foutbalken) heeft cremeren een grotere impact dan begraven; bij 100% recycling (laagste foutbalk voor begraven, standaardscenario voor cremeren) heeft begraven een lagere milieu-impact. Alleen voor het standaardscenario, waarbij begraven slechts gedeeltelijk recyclingvoordelen heeft omdat het minder precies en efficiënt gebeurt dan bij cremeren, heeft begraven een hogere milieu-impact dan cremeren; dit verschil is echter te klein om significant te zijn.

De resultaten van deze gevoeligheidsanalyse tonen aan dat het modelleren van recycling weinig uitmaakt voor de conclusies voor resomeren, maar veel voor de vergelijking van begraven en cremeren. Als de recycling bij begraven uitgebreider zou plaatsvinden, zou de milieu-impact van een begrafenis lager kunnen zijn dan die van een crematie. Als men de recyclingprocessen buiten de systeemgrenzen van een uitvaart zou beschouwen, heeft begraven ook een lagere milieu-impact dan cremeren; de impact van resomeren is dan circa driemaal lager.

5.2.4 Grafrustperiode

De belangrijkste parameter bij begraven is landgebruik, zowel door de gehanteerde methode (schaduwprijs van 0,201 €/m2a) als vanwege de gebruikte data (aantal m2a). Het vertalen van “landgebruik” in een milieueffect is echter een lastig onderwerp, waarover wetenschappers nog geen overeenstemming hebben bereikt. Moet landgebruik wel of niet als milieueffect beschouwd worden? En zo ja, wat is dan de “waarde” van gemiddeld landgebruik? Vanwege deze discussie en de significante invloed wordt er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarbij de effecten van landgebruik niet meegenomen worden (schaduwprijs = 0). Een variant met een hogere schaduwprijs wordt niet beschouwd, omdat het effect hiervan evident is. Hoe hoger de schaduwprijs voor land, des te groter zal het verschil worden tussen het landintensieve begraven en de andere technieken. Het resultaat van de gevoeligheidsanalyse zonder land is weergegeven in Figuur 16.

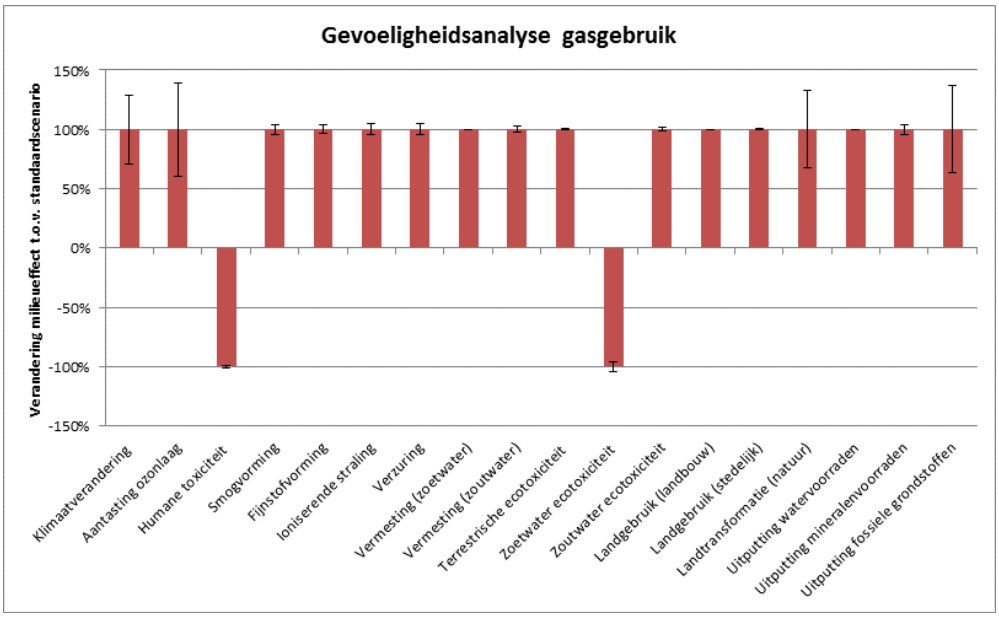


Figuur 16 Resultaten van de gevoeligheidsanalyse zonder het meenemen van de milieueffectcategorieën landgebruik en –transformatie.

Figuur 16 toont duidelijk aan dat landgebruik een significante invloed heeft op de conclusie welke uitvaarttechniek het grootste totale milieueffect heeft. Zonder landgebruik heeft cremeren een significant hogere impact dan begraven (+25%). Resomeren blijft voor deze gevoeligheidsanalyse de laagste impact van alle technieken vertegenwoordigen.
De figuur laat tevens zien dat er bij begraven meer factoren een rol spelen dan landgebruik alleen. Het feit dat de milieueffecten van begraven en cremeren zo dicht bij elkaar liggen dat de conclusies kunnen veranderen bij het wel of niet meenemen van een bepaalde effectcategorie, onderstreept dat de verschillen tussen beide technieken klein zijn, en dat variaties een grote rol spelen. Een voorbeeld van een invloedrijke variatie komt aan bod in de volgende gevoeligheidsanalyse; het aardgasverbruik bij crematies.

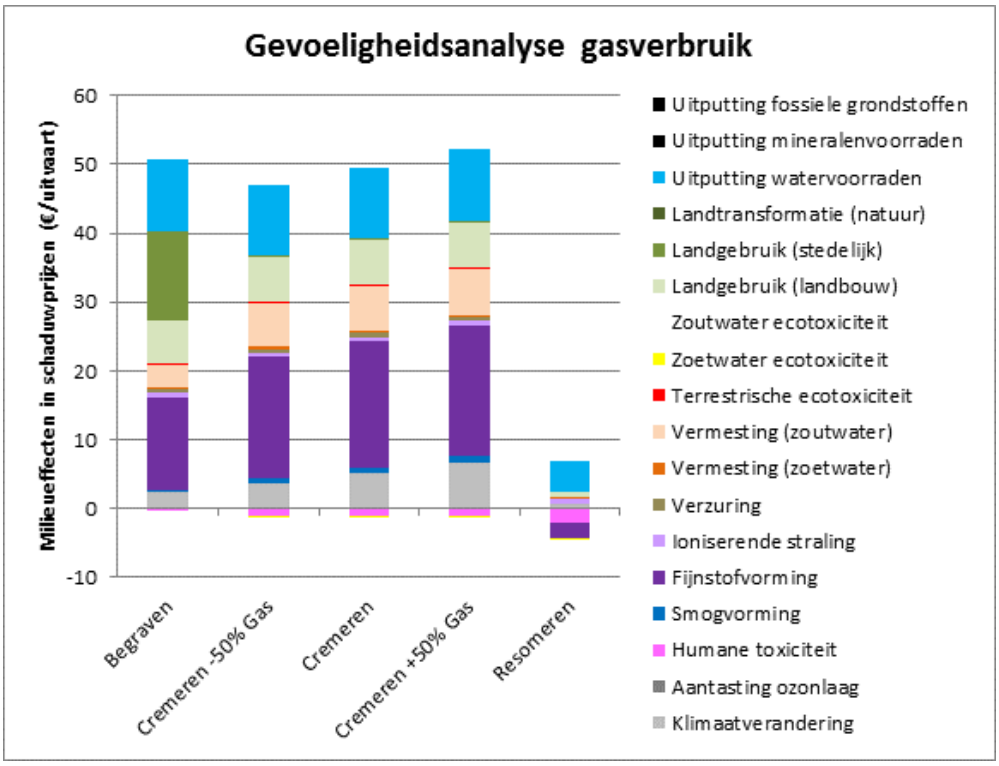
5.2.5 *Aardgasverbruik*

In deze geactualiseerde studie is de hoeveelheid en wijze van het aardgasverbruik aangepast. Deze veranderingen zijn de grootste veroorzakers van de stijging van de milieueffecten van cremeren. De exacte hoeveelheid verbruikt aardgas is echter zeer variabel, want het is afhankelijk van meerdere factoren, zoals van het aantal crematies per dag en het oventype (warme of koude start). Tijdens de dataverzamelingsfase van deze en de voorgaande studie, bleek het moeilijk om een “gemiddeld” gasverbruik per crematie te schatten. In deze studie zijn we uitgegaan van een gemiddeld verbruik van 50 m^3 per crematie. Deze gevoeligheidsanalyse betreft een scenario met 50% minder en 50% meer gasverbruik. De resultaten worden getoond in Figuur 17 en Figuur 18.



Figuur 17 Resultaten van de gevoeligheidsanalyse voor gasverbruik bij crematies. De variatie per effectcategorie wordt getoond voor een scenario met 50% minder en 50% meer gasverbruik ten opzichte van het standaardscenario.

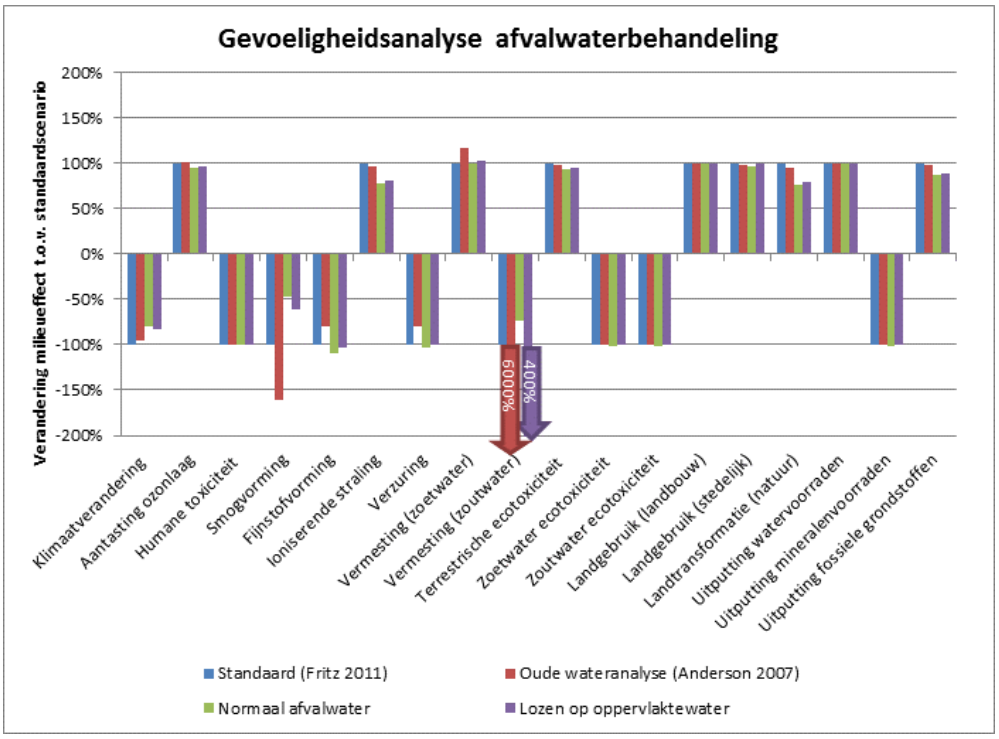
Figuur 17 toont dat de variaties van de twee gevoeligheidsscenario's voor gasverbruik significant (>10%) effect hebben op 4 effectcategorieën: klimaatverandering, aantasting ozonlaag, landtransformatie en uitputting fossiele grondstoffen. Voor de andere effectcategorieën verandert er weinig.
Figuur 18 toont wat dit voor de integrale milieu-impact van cremeren betekent in vergelijking tot de andere uitvaarttechnieken. De gevoeligheidsscenario's zorgen voor een verandering van 5% ten opzichte van het standaardscenario van cremeren. Een lager gasverbruik zorgt dus niet voor een extreme verlaging van de totale milieu-impact, terwijl een hoger gasverbruik betekent dat de milieu-impact van cremeren vergelijkbaar wordt met die van begraven. De conclusies ten opzichte van resomeren houden dus stand. De vergelijking van begraven en cremeren is dus gevoelig voor de individuele variaties; weinig efficiënte crematies kunnen een vergelijkbare milieu-impact hebben als begrafenissen.



Figuur 18 Resultaten van de gevoeligheidsanalyse voor gasverbruik bij crematies. De totale milieu-impact in schaduwprijzen per uitvaarttechniek wordt getoond, met twee variaties voor cremeren; met 50% minder en 50% meer gasverbruik ten opzichte van het standaardscenario.

5.2.6 *Afvalwaterbehandeling*

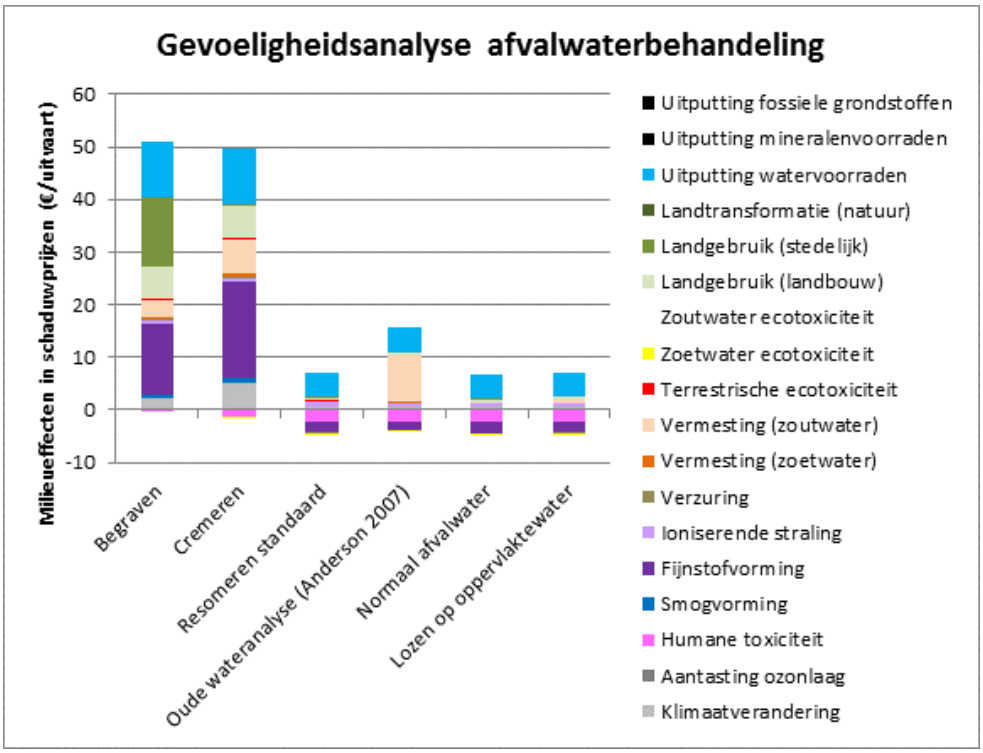
Na de verschijning van het vorige rapport is er veel discussie geweest over de impact van het afvalwater. Ten tijde van het vorige rapport was er nog niets bekend over de verwerking van het afvalwater. Indertijd is een wateranalyserapport meegenomen bij de gevoeligheidsanalyse. Voor deze nieuwe gevoeligheidsanalyse zullen de gegevens van de vorige wateranalyse (Anderson, 2007) vergeleken worden met het nieuwe wateranalyserapport (Fritz, 2011); “normale” afvalwaterzuivering en een worst case scenario (alle vloeistoffen geloosd op oppervlaktewater). De resultaten van deze gevoeligheidsanalyse zijn te zien in Figuur 19 en Figuur 20.



Figuur 19 Resultaten van de gevoeligheidsanalyse van de afvalwaterbehandeling bij resomeren. De effecten van verschillende scenario's zijn weergegeven in vergelijking tot het standaardscenario (blauw,100%). Twee kolommen zijn hoger dan zichtbaar is in de grafiek: zoutwater vermesting van het scenario met de oude wateranalyse (6000%) en met normaal afvalwater (400%); deze zijn in de figuur aangegeven met een pijl.

Figuur 19 laat zien dat de verschillend scenario's voor meerdere effectcategorieën variaties veroorzaken. Vrijwel geen variatie (<10%) is zichtbaar bij ozondepletie, de (eco)toxiciteitscategorieën, beide soorten landgebruik en waterdepletie.
Grote variatie is te zien bij name zoutwater vermesting (tot in duizenden procenten) en smogvorming (>50%). Dat zoutwatervermesting een dermate grote variatie toont, is in lijn met de eerder benoemde onzekerheden over de samenstelling en de bestemming van het afvalwater. Voor alle andere categorieën is een variatie tot circa 20% te zien.

Wat dit op het totale milieueffect voor invloed heeft, is te zien in Figuur 20. In twee scenario's is de netto-milieu-impact van resomeren vergelijkbaar met het standaardscenario (enkele euro's per uitvaart). Alleen voor het scenario met de "oude" wateranalyse van Anderson (2007) stijgt de overall milieu-impact (tot 11 €/uitvaart). Toch is het effect van resomeren nog steeds veel lager dan dat van de conventionele uitvaarttechnieken. Beide figuren tonen wel aan dat de uitkomsten van de huidige analyse (die alleen de metalen, pH en BOD/COD-waardes meeneemt in de afvalwaterbehandeling-analyse) waarschijnlijk het vermestingseffect van de waterbehandeling onderschatten. Dit is een punt van aandacht bij de eventuele introductie van resomeren in Nederland. Dan dient met de betrokken afvalwaterzuiveringsorganisatie afstemming plaats te vinden.



Figuur 20 Resultaten van de gevoeligheidsanalyse van de afvalwaterbehandeling ten opzichte van de impact van de andere uitvaarttechnieken.

5.3 Overige gevoeligheden

Zoals vermeld in paragraaf 5.2 kunnen er meerdere aspecten zijn waarvoor de resultaten gevoelig zijn. In dit onderzoek zijn de belangrijkste onderwerpen besproken in paragraaf 5.2. Er blijft echter altijd een scala aan onderwerpen over die aandacht blijven vragen. Die onderwerpen worden hier kort behandeld.

5.3.1 Methodiek, onderliggende modellen

De gehanteerde modellen, het stortplaatsmodel en het afvalwatermodel, vragen ook een kritische analyse. Het afvalwatermodel is in de paragraaf hiervoor aan een gevoeligheidsanalyse onderworpen. Voor het stortplaatsmodel waren er aanwijzingen (op basis van een aanvullende studie van Keijzer (Keijzer, 2011)) dat de gemaakte keuzes weinig invloed hebben, en daarom zijn deze niet verder onderzocht. Eén belangrijk aspect van het stortplaatsmodel verdient wel extra aandacht; de aanname voor de methaanemissies. In het model wordt een standaardwaarde van 5% gehanteerd. Wat betreft begraafplaatsen bestaan hier verder geen gegevens over, maar deze waarde kan wel getoetst worden aan de hand van literatuur over stortplaatsen en methaanemissies.
Een rapport van NOVEM bespreekt de variaties in methaanemissies van stortplaatsen, en daarmee kunnen de variaties geschetst worden in vergelijking tot de aannames die gedaan zijn in deze studie (NOVEM, RLB, 2000). In hoofdstuk 3 bespreekt het rapport drie varianten, waarbij het gehalte organische stof varieert tussen 70 kg/ton aanvoer en 220 kg/ton aanvoer. Op de lange termijn levert dat de methaanemissies op, zoals weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 Variatie in methaanemissies van stortplaatsen op de lange termijn, berekend op basis van NOVEM (NOVEM, RLB, 2000).

Totale aanvoer (in 20 jaar)	Organische stofgehalte (type hoog/laag)	Totale organische stof (berekend)	Methaanemissies (in 25 jaar; tabel 3.2 in rapport)	Methaanemissies (omgerekend in kg; dichtheid 0,66 kg/m^3)	Verhouding methaanemissies/ totale aanvoer	Verhouding methaanemissies/ organische stof
3,25 x 10^9 kg	70 kg/ton	227 x 10^6 kg	36 x 10^6 m^3	24 x 10^6 kg	0,7%	10%
	220 kg/ton	715 x 10^6 kg	125,4 x 10^6 m^3	83 x 10^6 kg	2,6%	12%

Twee aspecten vallen op Tabel 5. Ten eerste verschillen de twee scenario's amper qua percentage methaanemissies ten opzichte van de hoeveelheid organische stof (laatste kolom). Het lijkt dus weinig uit te maken hoeveel organische stof er in een stortplaats gestort wordt; de methaanemissies blijven rond de 10%. In het stortplaatsmodel zijn wij uitgegaan van 5% emissies voor een gemiddelde hoeveelheid afval (niet gedefinieerde hoeveelheid organische stof; in ieder geval geen 100%). De schatting van 5% voor gemiddeld afval lijkt dus aardig vergelijkbaar met 10% voor 100% organisch afval.

Ten tweede valt op dat de methaanemissies voor de hoeveelheid gestort materiaal, (veel) lager zijn dan de waarde van 5% die in deze studie verondersteld is. Gemiddeld afval heeft blijkbaar een methaanemissie van 0,7 tot 2,6%. Dit betekent dat, zelfs al heeft een menselijk lichaam een hoger gehalte organische stof dan gemiddeld afval, de aanname van 5% methaanemissies realistisch is; het zou kunnen zijn dat dit relatief hoog is ingeschat, maar in ieder geval niet te laag. Bij gebrek aan betere informatie is de conclusie dat de waarde van 5% voldoet.

5.3.2 Methode, milieueffecten en schaduwprijzen

De afgelopen tien jaar is er een opvolger ontwikkeld voor de CML2-methode, in combinatie met de EcoIndicator 99-methode. Omdat deze studie nastreeft om de meest recente methodes en informatie te gebruiken, zijn de berekeningen uitgevoerd met deze nieuwe methode, ReCiPe Midpoint H. Om de effecten van deze methodekeuze te analyseren, zijn de resultaten berekend met zowel de ReCiPe-methode als de CML2-methode. Dat de keuze voor de methode, en daarmee het voortschrijdend inzicht op LCA-gebied, een grote invloed heeft op de conclusies, is aangetoond in de eerste paragraaf van dit hoofdstuk (zie Figuur 11 en Figuur 12).

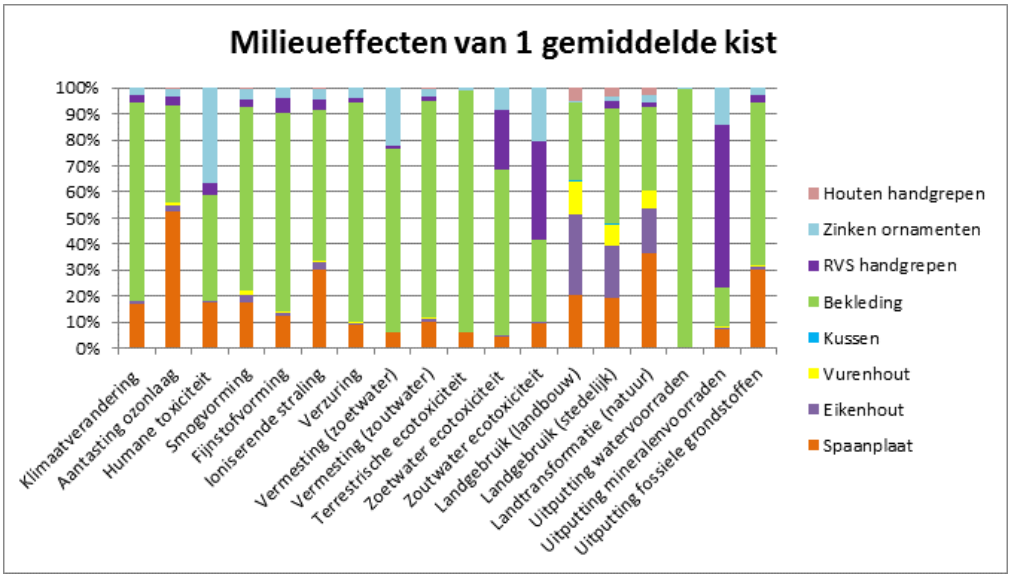
5.3.3 Keuzes

In iedere studie worden legio keuzes gemaakt en aannames gedaan, maar niet allen zijn belangrijk genoeg om een gevoeligheidsanalyse te ondergaan. Een belangrijke keuze in dit onderzoek was de keus om de "gemiddelde stand der techniek" te beschouwen en alle technieken hiermee op een gelijk niveau te plaatsen. In de toekomst, als er meer bekend is over de ontwikkeling van met name resomatie, kan een herberekening zinvol zijn.
Naast deze systeemkeuze zijn er ook vele keuzes gemaakt op het gebied van o.a. toegepaste materialen. Wanneer deze keuzes duidelijk invloed hadden op de resultaten is hiervoor een gevoeligheidsanalyse gedaan. In de overige gevallen is er geen analyse gedaan.

5.3.4 Kist

Uit de voorgaande analyses is gebleken dat de milieubelasting van de kist voor meerdere effectcategorieën een relevant effect geeft (zie bijv. Figuur 8 tot en met Figuur 10).

Om te verhelderen waar deze milieubelasting vandaan komt, zijn de milieueffecten geanalyseerd van de “gemiddelde” kist zoals gemodelleerd voor deze studie. Figuur 21 toont het resultaat. Voor vrijwel alle effectcategorieën speelt de katoenen kistbekleding een dominante rol. De RVS-handgrepen spelen voor een aantal categorieën een substantiële rol, maar in het geval van cremeren en resomeren zullen deze impacts grotendeels gecompenseerd worden door recycling. Het valt op dat de spaanplaatkisten de grootste impact hebben in vergelijking met de andere twee houten kisten. Het is te voorbarig om te concluderen dat spaanplaat hiermee een “slecht” materiaal is, maar het toont wel aan dat de kistkeuze van invloed is op de totale milieu-impact. Katoenen kistbekleding heeft een dominante invloed; dit betekent tevens dat een uitvaart met (katoenen) lijkwade in plaats van kist niet per definitie een verbetering van de impact geeft. Een hergebruiksysteem, zoals Resomation Ltd. voorstelt, is de meest efficiënte manier om de milieu-impact van de lijkomhulling te verlagen; in hoeverre dit ethisch en maatschappelijk wenselijk is, is niet onderzocht.



Figuur 21 Milieueffecten van een gemiddelde kist, zoals gemodelleerd voor deze studie. De grafiek geeft aan welke onderdelen van deze modellering het zwaarst wegen per effectcategorie. De gemiddelde kist bevat 80% x 36 kg spaanplaat, 14% x 43 kg eikenhout en 6% x 30 kg vurenhout. 85% van de kisten heeft houten handgrepen, 15% heeft RVS handgrepen.

5.3.5 *Input*

De gevoeligheid van de input sluit aan bij de vorige sectie. Wanneer er duidelijke aanwijzingen waren dat een bepaalde input veel invloed, een grote foutmarge of veel variatie heeft, dan zou er extra naar gekeken zijn. Het gasverbruik voor cremeren is daarom aan een gevoeligheidsanalyse onderworpen (zie paragraaf 5.2). Andere inputs zijn reeds geanalyseerd in de voorgaande studie en kort besproken aan het begin van dit hoofdstuk.

5.3.6 *Samenstelling lichaam*

Voor deze update van het eerdere onderzoek, is gevraagd om en gezocht naar recentere gegevens met betrekking tot de samenstelling van het lichaam en de overblijfselen dan de gegevens uit de voorgaande rapportage (Keijzer & Kok, Milieueffecten van verschillende uitvaartmogelijkheden, 2011).

Helaas zijn er geen recentere gegevens geleverd of gevonden, en daarom zijn dezelfde gegevens weer gebruikt. Hoewel meer recente gegevens een interessante toevoeging zouden zijn aan het onderzoek, bijvoorbeeld om de invloed van toename in overgewicht van de gemiddelde Nederlander[20] op de uitvaartprocessen te bepalen, is verondersteld dat de invloed op de resultaten waarschijnlijk acceptabel laag is.
Deze invloed is tevens te beredeneren. Een toename van het lichaamsgewicht bestaat waarschijnlijk voor een groot deel uit vet, oftewel organisch materiaal. De publicatie van Forbes die gebruikt is voor dit onderzoek, stelt dat een gemiddeld lichaam van 70 kg bestaat uit 12 kg vet (Forbes, 1987); gemiddeld zou dat nu circa 7 kg[20] vet meer zijn.
Voor de uitvaarttechnieken betekent dit voornamelijk een verandering voor het verteringsproces. Bij begraven kan dit betekenen dat er (iets) meer methaan vrij komt; afgaande op de analyse in de vorige paragraaf zou dit circa 700 gram extra (biogene) methaanemissies zijn, oftewel 15 kg CO_2-equivalenten (berekend met de ReCiPe-methode). Dit is een toename van 16% ten opzichte van het basisscenario (zie Tabel 3; 95 kg CO_2-equivalenten per overledene).
Bij cremeren zou er meer gas nodig kunnen zijn, echter dit is niet zeer waarschijnlijk aangezien vet op zich goed brand. Bij resomeren betekent meer vet dat er iets meer kaliloog en misschien ook water nodig is. Aangezien de hoeveelheid kaliloog (opgelost in water) gebaseerd is op het lichaamsgewicht, zou er circa 10% extra nodig zijn. Uit de resultaten van eerdere uitgevoerde gevoeligheidsanalyses is bekend dat 10% extra weinig uitmaakt op de totale milieu-impact van resomeren.
Kortom, de veranderingen in lichaamssamenstelling in de afgelopen 30 jaar zouden voor een kleine toename in de effecten van klimaatverandering van begraven kunnen zorgen.

Voor de overige processen in de keten is alleen de verandering van de grootte van de kist een belangrijke factor, omdat er grotere lichamen in moeten passen. Aangezien de kist een belangrijke invloed heeft op de totale milieu-impact van begraven en cremeren, maar niet bij resomeren, zal een toename van het lichaamsgewicht ervoor zorgen dat de verschillen tussen begraven en cremeren enerzijds en resomeren anderzijds groter worden.

Andere processen ondervinden amper invloed van grotere lichamen. Een aantal belangrijke factoren (landgebruik, machines en overblijfselen) hebben waarschijnlijk weinig invloed op deze verandering:

- Het landoppervlak dat nodig is om een zwaarder lichaam te begraven zal waarschijnlijk niet veel groter te zijn, als het lichaam dikker is; er bestaat wellicht enige marge (10 m^2 per overledene).
- De machines die gebruikt worden bij cremeren en resomeren zouden wellicht groter moeten worden, maar omdat deze machines vele malen gebruikt kunnen worden, is de verandering van de gemiddelde impact per overledene heel klein, en daar is weinig effect te verwachten.

[20] De afgelopen 20 jaar is de gemiddelde man in Nederland bijna 6 en de gemiddelde vrouw bijna 4 kilogram zwaarder geworden (CBS, 2012). Met een gemiddeld lichaamsgewicht in 2011 van 84 kg voor mannen en 70 kg voor vrouwen, vertonen de gebruikte bronnen een afwijking van circa 10% (77 kg i.p.v. 70 kg gemiddeld).

- De samenstelling van as, poeder en afvalwater zal wellicht meer koolstofverbindingen bevatten, maar omdat het om kleine en niet-toxische, niet-verzurende en niet-eutrofiërende hoeveelheden gaat, wordt verwacht dat dit effect gering zal zijn.

Een bijkomend gegeven bij de geresomeerde overblijfselen is dat er veel minder informatie beschikbaar is over de samenstelling dan over die van crematieas; er zijn minder stoffen gemodelleerd en dat betekent dat er ook voor minder stoffen een milieubelasting berekend is. Dit zou kunnen betekenen dat de impact van de asverstrooiing wat hoger zou kunnen zijn dan nu gemodelleerd is. Aangezien de asverstrooiing echter geen hoge impact heeft, in vergelijking tot de andere milieueffecten van cremeren, zal het weinig verschil maken wanneer de geresomeerde overblijfselen enkele elementen meer zouden bevatten. De totale milieu-impact van resomeren zal laag blijven.

6 Conclusies

Het doel van deze studie is om drie verschillende uitvaarttechnieken te vergelijken wat betreft hun milieueffecten in alle fases van de uitvoering van deze techniek. Deze studie omvat een update van de gebruikte gegevens en methodes uit de eerdere TNO-studie (Keijzer & Kok, 2011).

Uit vergelijking van de LCA-resultaten van de drie verschillende uitvaarttechnieken blijkt dat:

- resomeren het minste milieueffect heeft voor alle effectcategorieën, met uitzondering van ioniserende straling;
- begraven en cremeren beide het grootste milieueffect hebben voor vier categorieën (landgebruik landbouw, landtransformatie en uitputting water- en mineralenvoorraden);
- cremeren het grootste milieueffect heeft voor de meeste (tien) effectcategorieën;
- begraven het grootste milieueffect heeft voor drie categorieën;
- voor één milieueffect heeft begraven de laagste waarde, tezamen met resomeren: aantasting ozonlaag;
- voor één milieueffect heeft cremeren de laagste waarde: ioniserende straling.

Uit de zwaartepuntenanalyse bleek dat er een klein aantal processen was dat deze resultaten het meest beinvloedde. De katoenen kistbekleding en lijkhoes (bij begraven en cremeren) zijn de belangrijkste veroorzakers van terrestrische en zoetwater exotoxiciteit, landgebruik (landbouw) en uitputting van watervoorraden, omdat de productie van katoen milieubelastend is. De uitputting van metalenvoorraden is eveneens het sterkst bepaald door de (geringe hoeveelheid) metalen die voor de kist gebruikt worden(/t).
De hoge scores van cremeren voor uitputting van fossiele grondstoffen wordt veroorzaakt door het gebruik van aardgas. Begraven heeft een ongeveer tweemaal zo lage score, welke grotendeels veroorzaakt wordt door het zware transport van het grafmonument. Bij het transport van aardgas komen CFK's vrij, welke de belangrijkste veroorzakers zijn van ozonlaagaantasting bij cremeren en, in lichtere mate, resomeren. De rookgassen zijn de belangrijkste factor bij smogvorming, fijnstofvorming en verzuring. De asverstrooiing en vertering van de stoffelijke resten in de bodem hebben sterke invloed op de vermestingseffecten (zowel zoet- als zoutwater) en toxiciteit voor zoutwater ecosystemen.
Resomeren heeft alleen voor ioniserende straling de hoogste impact in vergelijking tot de andere twee technieken; deze impact is grotendeels afkomstig van de productieprocessen van kaliloog. De waardes voor de drie technieken verschillen echter weinig wat betreft deze effectcategorie. Tot slot blijkt dat er een categorie is waar alle technieken een negatieve milieu-impact (dus milieuvoordeel) vertonen: humane toxiciteit. Deze "milieubonus" is te danken aan de voordelen van recyclingsprocessen.

Naast de zwaartepuntenanalyse, zijn de verschillende technieken geanalyseerd per processtap. Bij begraven hebben het monument, de kist en de verwijderingsfase een grote invloed voor de meeste effectcategorieën. Grafrust domineert twee effectcategorieën: zoetwatervermesting en stedelijk landgebruik.

Het crematieproces heeft een grote impact voor klimaatverandering, aantasting ozonlaag en fossiele brandstoffen; dit is geen verrassing, gezien het hoge aardgasverbruik. De eindbestemming van overblijfselen heeft een grote impact zowel wat betreft milieuwinst (ten gevolge van recycling) voor twee categorieën, als ook een grote milieubijdrage voor zoetwater vermesting, en zoutwater ecotoxiciteit. De (gereinigde) rookgasemissies hebben grote impacts ondanks de afwezigheid van schadelijke stoffen, omdat er wel emissies optreden die bijdragen aan andere effectcategorieën, zoals fijnstof. Evenals bij begraven is er voor cremeren een grote bijdrage van de kist voor bepaalde categorieën, die gerelateerd zijn aan katoen- en houtproductie. De analyse van de processtappen bij resomeren toont duidelijk waar de lage milieueffecten aan te danken zijn; met name aan de recyclingsprocessen, die een belangrijke positieve bijdrage geven aan een groot aantal effectcategorieën. De eindbestemming van de overblijfselen, met name ten gevolge van verstrooiing, en de speciale katoenen kleding zijn de andere twee belangrijkste aspecten die de milieubelasting veroorzaken. De lijkhoes en de kist hebben amper impact in vergelijking met de andere processtappen.

Deze resultaten tezamen scheppen de verwachting dat de totale milieu-impact van de verschillende uitvaarttechnieken het kleinst is voor resomeren. Uit deze analyses blijkt niet welke van de drie technieken de grootste milieu-impact heeft per uitvaart.

Om een meer kwantitatieve uitspraak over de totale milieu-impact van de drie uitvaarttechnieken te kunnen doen is gebruik gemaakt van de schaduwprijzen methode. Hier moet bij opgemerkt worden dat dit gedeelte van de studie buiten ISO 14040/14044 (ISO, 2006) valt, omdat de resultaten gewogen worden.

De resultaten van de schaduwprijzenanalyse maken duidelijk dat de totale milieu-impact (als schaduwprijs):

- van begraven het grootst is, gevolgd door cremeren, met beide varianten van de CML-methodes;
- van begraven en cremeren veel verschilt volgens de CML-methode (30%),
- van begraven en cremeren niet significant verschilt volgens de ReCiPe-methode (5%);
- van begraven en cremeren vele malen hoger is dan die van resomeren.

De meest opvallende conclusie is dat resomeren een veel lagere milieu-impact heeft dan begraven en cremeren. Dit werd ook in het voorgaande onderzoek geconcludeerd (Keijzer & Kok, 2011). Echter, het duidelijke verschil tussen begraven en cremeren, is in tegenstelling tot eerdere conclusies, niet significant wanneer geanalyseerd wordt met de ReCiPe-methode. Gezien de variaties en onzekerheden in bepaalde belangrijke parameters (bijvoorbeeld de exacte hoeveelheid gasgebruik en de grafrusttermijn), is het met de nieuwste resultaten niet met zekerheid te zeggen welke van beide een hoger totaal milieueffect heeft. Het is daarom belangrijk om ook te kijken naar de gevoeligheid van parameterwaarden met uitwerking op de verschillende milieueffecten.

Er zijn vier gevoeligheidsanalyses uitgevoerd: voor een algemeen onderwerp (recycling) en voor een onderwerp per uitvaarttechniek (grafrustperiode, aardgasverbruik en afvalwaterbehandeling). De resultaten van de gevoeligheidsanalyses toonden aan dat resomeren de laagste milieu-impact heeft van de drie technieken, zelfs als de vermestingseffecten van de afvalwaterbehandeling groter zouden zijn dan ze nu lijken.

De verschillen tussen begraven en cremeren zijn echter gevoelig voor individuele variatie; zo zal een inefficiënte crematie (met veel gasverbruik) een hogere milieu-impact hebben dan een begrafenis met een algemeen graf (met een kortdurende grafrusttermijn).

De recycling van metalen speelt een grote rol bij de vergelijking van de drie technieken, omdat deze voor de 3 technieken verschilt. De gevoeligheidsanalyse leidt tot de conclusie dat de recycling bij cremeren zeer efficiënt verloopt, bij resomeren wellicht overschat wordt en bij begraven zowel beter als slechter zou kunnen zijn dan in dit rapport gepresenteerd. De resultaten van de gevoeligheidsanalyse tonen aan dat de keuze voor de aard en omvang van recycling weinig uitmaakt voor de conclusies omtrent resomeren, maar veel voor de vergelijking van begraven en cremeren. Als de recycling bij begraven uitgebreider zou plaatsvinden, zou de milieu-impact van een begrafenis lager kunnen zijn dan voor een crematie.

Naast de gevoeligheid voor aard/omvang van recycling zijn de volgende onderwerpen betrokken in gevoeligheidsanalyses: de LCIA-methode, gemaakte keuzes voor de kist, de inputgegevens en de samenstelling van het lichaam. De meerderheid van de resultaten van deze analyses bevestigde de reeds getrokken conclusies en ondersteunde de gedane aannames. De analyse van de aannames voor de kist leverde een verrassende conclusie, namelijk dat de belangrijkste parameter voor de bijdrage aan de waardes voor de effectcategorieën de katoenen kistbekleding is. Dit betekent tevens dat de impact van een uitvaart met (katoenen) lijkwade in plaats van kist niet per definitie een verbetering is, zoals soms geopperd wordt in de publieke discussie. Het opnieuw gebruiken, zoals Resomation Ltd. voorstelt, is de meest efficiënte manier om de milieu-impact van de lijkomhulling te verlagen; in hoeverre dit ethisch en maatschappelijk wenselijk is, is niet onderzocht.

Deze studie toont aan dat de nieuwe techniek, resomeren, een lagere milieu-impact heeft dan de conventionele technieken. Dit sluit aan bij de conclusies uit het vorige onderzoek (2011). De update van de gegevens en de methode heeft ertoe geleid dat het onderscheid tussen begraven en cremeren minder groot is geworden; in bepaalde gevallen zal de milieu-impact van begraven zelfs lager zijn dan die van cremeren, in tegenstelling tot de eerder getrokken conclusies. Dit is afhankelijk van variaties binnen beide technieken.

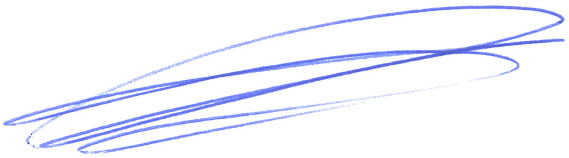
De ethische en economische aspecten van het toepassen van de verschillende uitvaarttechnieken zijn niet bij deze studie betrokken. Tevens is er geen rekening gehouden met de eventuele verschillen in natuurwaarden tussen begraafplaatsen, crematoria en eventuele strooivelden c.q. composteervelden voor resomeren.

7 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever:
Yarden Holding bv
T.a.v. de heer J. Heskes
Transistorstraat 10
1322 CE Almere

Namen van de projectmedewerkers:
E.E. Keijzer, MSc
H. ten Broeke, MSc

Naam en paraaf tweede lezer:



Dr. T.N. Ligthart

Ondertekening:



Ir. A.M.M. Ansems
Projectleider

Autorisatie vrijgave:



Ir. R.A.W. Albers MPA
Research Manager

8 Referenties

Anderson. (2007). *Analysis of Alkaline Hydrolysis Sample.* CLARCC.

Appelman, W., & Kok, H. (2005). *Beoordeling van de milieu-effecten van het Amalgator kwikafvangsysteem voor crematoria.* Apeldoorn: TNO.

Aqua Omega. (2010). Persoonlijke communicatie.

Axelrad, D., Goodman, S., & Woodruff, T. (2009). PCB body burdens in US women of childbearing age 2001-2002: an evaluation of alternate summary metrics of NHANES data. *Environmental research*, 368-378.

Bruyn, S. d., Korteland, M., Markowska, A., Davidson, M., Jong, F. d., Bles, M., et al. (2010). *Valuation and weighting of emissions and environmental impacts.* Delft: CE.

CBS. (2003, 11 03). *Steeds minder mensen hebben een kunstgebit. Webmagazine.* Retrieved 11 04, 2010, from CBS: www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/gezondheid-welzijn/publicaties/artikelen/archief/2003/2003-1308-wm.htm

De Gedenkgroep. (2010). Persoonlijke communicatie.

Dent, B. (2002). *The hydrogeological context of cemetery operations and planning in Australia. PhD Thesis.* University of Technology: Sydney.

Dent, B., & Knight, M. (1998). Cemeteries: a special kind of landfill. The context of their sustainable management. *Conference of the International Association of Hydrogeologists: "Groundwater: Sustainable Solutions"* (pp. 451-456). Melbourne: International Association of Hydrogeologists.

DFW. (2010). Persoonlijke communicatie.

Dijk, S. v., & Mennen, M. (2002). *Lijkbezorging in Nederland. Evaluatie inspectierichtlijn, overzicht van de branche en inzicht in naleving van regelgeving.* Bilthoven: RIVM.

Doka, G. (2007). *Life cycle inventories of waste treatment services. Ecoinvent report No. 13. Part III, Landfills – underground deposits – landfarming. .* Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Ecogeek. (2010). *The greenest way to die: liquification*. Retrieved 11 29, 2010, from Ecogeek: www.ecogeek.org/component/content/article/1529

Eggels, P., & Ven, B. v. (2000). *Background data for the building environment, a reference database. The VLCA database. TNO-MEP R2000/130.* Apeldoorn: TNO.

Facultatieve Technologies. (2010). Persoonlijke communicatie.

Forbes, G. (1987). *Human body composition: growth, aging, nutrition, and activity.* New York: Springer-Verlag.

Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Doka, G., Dones, R., Heck, T., et al. (2007). *Overview and Methodology. Ecoinvent report No. 1.* Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Fritz, T. (2011). *Analytical report. TestAmerica Job ID 660-44052-1. Effluent Sampling and analysis.* Tampa (FL): TestAmerica Laboratories Inc.

Funeral Products. (2010). Persoonlijke communicatie.

Genius Loci. (2010). Persoonlijke communicatie.

Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A. d., Struijs, J., & Zelm, R. v. (2009). *ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level; First edition Report I: Characterisation.*

Goedkoop, M., Schryver, A. d., & Oele, M. (2008). *Introduction to LCA with SimaPro 7.* Amersfoort: PRé Consultants.

Guinée, J., Gorée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Koning, A. d., et al. (2001). *LCA - An operational guide to the ISO-standards.* Leiden; Delft; Emst; Amsterdam: Leiden University; University of Technology; Bureau B&G; University of Amsterdam.

Harmelen, T. v., Horssen, A. v., Jongeneel, S., & Ligthart, T. (2012). *Shadow prices of biomass relevant impacts.* Utrecht: TNO.

Harmelen, T. v., Korenromp, R., Deutekom, C. v., Ligthart, T., Leeuwen, S. v., & Gijlswijk, R. v. (2007). The price of toxicity. Methodology for the assessment of shadow prices for human toxicity, ecotoxicity and abiotic depletion. In G. Huppes, & M. (. Ishikawa, *Quantified Eco-Efficiency* (pp. 105-125). Springer.

Hesselmans International. (2010). Persoonlijke communicatie.

IFZW. (2010). Persoonlijke communicatie.

ISO. (2006). *ISO 14040-44. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework en ISO 14044, 2006: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.* ISO.

Keijzer, E. (2011). *Environmental impact of funerals. Life cycle assessments of activities after life. (master thesis).* Groningen: IVEM.

Keijzer, E., & Kok, H. (2011). *Milieueffecten van verschillende uitvaartmogelijkheden.* Utrecht: TNO.

Life Cycle Initiative. (2004). Declaration of Apeldoorn on LCIA of non-ferrous metals. .

Lima, I., McAloon, A., & Boateng, A. (2008). Activated carbon from broiler litter: Process description and cost of production. *Biomass and bioenergy*, 568-572.

LOB. (2014). Persoonlijke communicatie.

Mbuyi-Muamba, J.-M., Dequeker, J., & Gevers, G. (1988). Biochemistry of bone. *Baillière's Clinical Rheumatology*, 63-101.

MilieuCentraal. (2014). *Wat mag er in het riool?* Retrieved 08 05, 2014, from MilieuCentraal: www.milieucentraal.nl/themas/afval-heb-je-zelf-in-de-hand/afvalscheiding/wat-mag-in-het-riool

Ministerie van VROM. (2004). *Inspectierichtlijn Lijkbezorging. Handreiking voor de inrichting, technisch beheer en onderhoud van begraafplaatsen, crematoria en opbaargelegenheden. 3e herziene druk. .* VROM Inspectie.

Molenaar, & al., e. (2009). *Terug naar de natuur. Mogelijke effecten en juridische aspecten t.a.v. natuurbegraven, asverstrooien en urnbijzetting in natuurgebieden.* Wageningen: Alterra.

Morren. (2010). *Niet al het goud blinkt. Onderzoek naar edelmetalen en chirurgisch staal in crematieas bij Nederlandse en Duitse crematoria .* Landelijke Vereniging van Crematoria.

NCMS. (2010). *Secondary smelting of non-ferrous metals. Impact, risks, and regulations.* Retrieved 11 30, 2010, from NCMS: http://ecm.ncms.org/ERI/new/IRRsecsmelt.htm

NOVEM, RLB. (2000). *Het minimaliseren van methaanemissies op stortplaatsen. Eindrapport.* NOVEM, RLB.

Orthometals. (2010). Persoonljike communicatie.

Pré Consultants. (2014, 07 25). *SimaPro*. Retrieved 07 25, 2014, from PRé: www.pre-sustainability.com/simapro

Putten, W. v. (1998, 09 21). *Wat gebeurt er met het goud uit graven?* Retrieved 07 25, 2014, from Uitvaart.nl: www.uitvaart.nl/juridisch/begraven/sieraden-e-a-grafgiften/wat-gebeurt-er-met-het-goud-uit-graven/1214/1214

Remmerswaal, H., & Heuvel, L. v. (2005). *Lifecycle inventory of obsequies. A comparison of the environmental consequences of various ways of funeral in The Netherlands.* Delft: University of Technology Delft.

Resomation Ltd. (2014). Persoonlijke communicatie.

Slooff, W., Beelen, P. v., Annema, J., & Janus, J. (1994). *Basisdocument kwik. Rapportnummer 710401023.* Bilthoven: RIVM.

Smit, E. (1996). *Massabalans en emissies van in Nederland toegepaste crematieprocessen. TNO MEP R96/095.* Apeldoorn: TNO.

Steen, P. v., & Pellenbarg, P. (2007, 03). *Ruimte voor de dood.* Retrieved 11 03, 2010, from De Begraafplaats: www.begraafplaats.nl/artikelen_db/224

Stichting Bouwkwaliteit. (2011). *Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken.* Rijswijk: Stichting Bouwkwaliteit.

SVT. (2010). Persoonlijke communicatie.

Tauw. (2006). *Crematorium Leiden emissieonderzoek 2006. R001-4444100RSA-sbk-V01-NL.* Tauw.

Unigra. (2010). Persoonlijke communicatie.

Veldhuis, S. (2010). Personal communication.

Welch, & Swerdlow. (2009). *Cryomation Limited - Carbon Trust Incubator - Due Diligence Report.* Oxford: Isis Innovation Limited.

WHO. (1998). *Assessment of the health risk of dioxins: re-evaluation of the Tolerable Daily Intake (TDI). Executive summary. WHO Consultation May 25-29 1998.* Geneva: WHO European Centre for Environment and Health, International Programme on Chemical Safety.

Yarden. (2014). Persoonlijke communicatie.

A Reviewrapport

Eindrapport

Finaal review statement van rapport “Milieueffecten van verschillende uitvaarttechnieken”

Vercalsteren An, Boonen Katrien

Studie uitgevoerd in opdracht van: Yarden
2014/SMAT/R/044

September 2014



VITO NV
Boeretang 200 - 2400 MOL - BELGIE
Tel. + 32 14 33 55 11 - Fax + 32 14 33 55 99
vito@vito.be - www.vito.be

BTW BE-0244.195.916 RPR (Turnhout)
Bank 375-1117354-90 ING
BE34 3751 1173 5490 - BBRUBEBB

Alle rechten, waaronder het auteursrecht, op de informatie vermeld in dit document berusten bij de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek NV ("VITO"), Boeretang 200, BE-2400 Mol, RPR Turnhout BTW BE 0244.195.916. De informatie zoals verstrekt in dit document is vertrouwelijke informatie van VITO. Zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van VITO mag dit document niet worden gereproduceerd of verspreid worden noch geheel of gedeeltelijk gebruikt worden voor het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin aangewend worden

VERSPREIDINGSLIJST

TNO:
Toon Ansems
Elisabeth Keijzer

VITO:
An Vercalsteren
Katrien Boonen

INHOUD

Verspreidingslijst **I**

Inhoud **II**

HOOFDSTUK 1. Inleiding **1**

HOOFDSTUK 2. Finaal Review statement **3**
2.1. Beschrijving van de review procedure 3
2.2. Finaal review statement 3

Literatuurlijst **1**

Bijlage I: Eerste (initieel) review verslag **2**
I.i Bepaling van doel en reikwijdte 2
I.ii Data inventarisatie (Life cycle inventory analysis) 4
I.iii Life cycle impact assessment 6
I.iv Life cycle interpretation 10

HOOFDSTUK 1. Inleiding

Dit document beschrijft de review van het TNO-rapport “Milieueffecten van verschillende uitvaarttechnieken”, met referentie TNO-060-UT-2011-01366 (versie 30 augustus 2014) volgens de ISO 14040 en 14044 normen. Deze studie vergelijkt verschillende types van uitvaarttechnieken. De opdrachtgever, Yarden, heeft de bedoeling om deze studie publiek beschikbaar te maken. ISO 14040/44 schrijft in dit geval voor dat de review wordt uitgevoerd door een review panel: *“In order to decrease the likelihood of misunderstandings or negative effects on external interested parties, a panel of interested parties shall conduct critical reviews on LCA studies where the results are intended to be used to support a comparative assertion intended to be disclosed to the public.”* Deze review is gebeurd door een externe expert, en dus niet door een review panel. Dit is dus niet volledig conform ISO. Omdat de alternatieve technieken in deze LCA-studie allemaal door Yarden worden toegepast en de gegevens specifiek betrekking hebben op Yarden, is er minder risico op misverstanden en negatieve effecten voor derde partijen waardoor de noodzaak voor een review door een review panel kleiner is.

Dit finale review verslag is opgemaakt na het ontvangen van de feedback van TNO op het initiële review verslag. Het finale review verslag zal worden opgenomen in het finaal rapport van de LCA studie.

Volgens de ISO 14040 en 14044 normen, moet een kritische review garanderen dat:

- De gebruikte methodes voor de LCA consistent zijn met deze voorgeschreven in de ISO-normen;
- De gebruikte methodes voor de LCA wetenschappelijk correct en technisch onderbouwd zijn;
- De gebruikte data geschikt en relevant zijn volgens het doel van de studie;
- De interpretatie van de resultaten duidelijk de aangegeven beperkingen en doel en reikwijdte van de studie weerspiegelt;
- Het rapport transparant en consistent is.

HOOFDSTUK 2. Finaal Review statement

2.1. Beschrijving van de review procedure

Volgende stappen zijn gevolgd tijdens dit review proces:

- TNO bezorgde VITO het *draft finaal rapport* van de LCA-studie;
- VITO formuleerde review commentaar, aanbevelingen, acties en bijkomende vragen in een *eerste (initieel) review verslag* (opgenomen in Annex I);
- TNO gaf *feedback* op dit review verslag (aangeduid in rood in Annex I) en maakte een *update* van de LCA-studie;
- Tenslotte stelde VITO het *finaal review verslag* op, gebaseerd op het rapport zoals ontvangen op 16 september 2014.

2.2. Finaal review statement

Het rapport van de studie “Milieueffecten van verschillende uitvaarttechnieken – update van eerder TNO-onderzoek” voldoet aan de ISO 14040 en 14044 standaarden. De methodes toegepast in de LCA zijn wetenschappelijk en technisch correct. De veronderstellingen die nodig waren zijn gerapporteerd en verduidelijkt, en ook de beperkingen van de studie zijn voldoende beschreven. De gebruikte data zijn gerapporteerd op een transparante manier. Data kwaliteit en databronnen zijn in overeenstemming met het doel en de scope van de studie. De interpretatie van de resultaten is consistent met het doel van de studie. Er zijn voldoende gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om de robuustheid van de resultaten na te gaan.
Een volledige calculatie check kon niet gebeuren tijdens deze review omwille van beperkte tijd. Een globale check van de resultaten werd wel gedaan, welke aangaf dat de berekeningen op een correcte manier zijn uitgevoerd.

De auteurs van de studie hebben voldoende rekening gehouden met de reviewcommentaren en aanbevelingen van de reviewer. De belangrijkste zaken die werden aangegeven in het eerste reviewverslag en verwerkt door TNO zijn:

- Duidelijkere voorstelling van systemen en systeemgrenzen;
- Toevoegen van hotspot analyse voor elk van de 3 uitvaarttechnieken aan de rapportage. Op die manier wordt duidelijker welke processtappen of factoren een belangrijke rol spelen in de milieu-impact van de technieken en kan beter ingeschat worden of bepaalde veronderstellingen een invloed kunnen hebben op het resultaat;
- Specifieke verwijzing naar de databronnen voor de gebruikte achtergronddata;
- Duidelijke beschrijving van de berekeningswijze van bepaalde cijfers;
- Resultaten van gevoeligheidsanalyses tonen per effectcategorie;
- Het niet ISO-conforme karakter van de weging waar nodig benadrukken;
- Conclusies formuleren op niveau van individuele effectcategorieën, in plaats van na weging.

Volgens de reviewer voldoet de globale kwaliteit van de methodologie en uitvoering van de studie aan het doel en de reikwijdte zoals gedefinieerd in deze studie. De studie geeft een duidelijk overzicht van de milieurelevante gegevens voor de 3 uitvaarttechnieken. De milieu-impact van de 3 technieken is op een transparante en consistente manier berekend en geanalyseerd.

LITERATUURLIJST

ISO 14040, ‘Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework’, (2006).
ISO 14044, ‘Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines’, (2006).

BIJLAGE I: EERSTE (INITIEEL) REVIEW VERSLAG

I.i Bepaling van doel en reikwijdte

Volgens de ISO standaarden 14040 en 14044 zal een LCA-studie duidelijk het **doel** van de studie definiëren. Volgende aspecten moeten duidelijk en ondubbelzinning worden opgenomen in de definitie van het doel van de studie:

- Toepassing van de LCA;
- Redenen voor het uitvoeren van de LCA-studie;
- Publiek waarvoor de studie bedoeld is;
- Is het de bedoeling de resultaten te gebruiken in vergelijkende studies dewelke publiek bekend gemaakt zullen worden.

Hoofdstuk 2, par. 2.1 , beschrijft duidelijk het doel van deze LCA-studie, inclusief de bovenstaande elementen. Er wordt aangegeven dat de opdrachtgever de bedoeling heeft om de resultaten van deze studie publiek te maken. Omdat de alternatieve technieken in deze LCA-studie allemaal door Yarden worden toegepast en de gegevens specifiek betrekking hebben op Yarden, is het niet nodig de review te laten uitvoeren door een review panel, maar kan dat gebeuren door een onafhankelijke externe reviewer (i.e. VITO).

Conform ISO 14040 en 14044 moeten bij het bepalen van de reikwijdte (scope) van de LCA de volgende aspecten worden benoemd en verduidelijkt:

- Product systemen die onderzocht worden;
- Functie van de systemen;
- Functionele eenheid;
- Systeemgrenzen;
- Allocatie procedures;
- Geselecteerde impact categorieën en impact assessment methodologie, and bijhorende interpretatie;
- Data vereisten;
- Initiele datakwaliteitsvereisten;
- Aannames;
- Waarde keuzes en optionele elementen;
- Beperkingen;
- Type van kritische review;
- Type en formaat van finaal rapport.

Onderzochte product systemen

Het rapport benoemt de 3 uitvaarttechnieken die worden bestudeerd en vergeleken. Er wordt aangeraden om deze technieken bondig te omschrijven, waar ze nu alleen worden benoemd. Een gedetailleerde beschrijving van de technieken is nu opgenomen in par. 4.2 tot en met 4.4, maar een korte omschrijving bij het bespreken van de reikwijdte maakt veel duidelijk. Figuur 1 wordt dan duidelijker voor de lezer zonder voorkennis van de technieken.
Korte beschrijving toegevoegd voorafgaand aan figuur 1.

Momenteel overlapt de beschrijving van de productsystemen met deze van de systeemgrenzen. Het zou de leesbaarheid en de begrijpbaarheid verhogen om de beschrijving van de productsystemen te beperken tot de 3 uitvaarttechnieken, inclusief een korte omschrijving en verduidelijking in figuur 1. Het deel over

voorbereidende activiteiten, afscheidsceremonie en effectieve uitvaarttechniek past beter bij de beschrijving van de systeemgrenzen en is daar eveneens beschreven.
Goede suggestie, aangepast.
Daarnaast kan overwogen worden om par. 2.2 'Reikwijdte' te beginnen met de beschrijving van de productsystemen en daarna pas de functionele eenheid te definiëren, in plaats van omgekeerd.
We hebben er voor gekozen om de functionele eenheid eerst te definiëren, omdat het daarmee voor de lezer direct duidelijk is waar dit onderzoek om gaat (niet de gehele uitvaart maar slechts het uitvoerende deel). De daaropvolgende paragraaf over productsystemen en systeemgrenzen geeft daarna juist de nodige detaillering. Dit vinden wij de meest logische volgorde.

Functie van de systemen en functionele eenheid
De functie en functionele eenheid van de studie zijn duidelijk en correct gedefinieerd.

Systeemgrenzen
De systeemgrenzen worden volledig beschreven, echter een visuele voorstelling van de systeemgrenzen voor de 3 technieken maakt veel duidelijk. Zoals eerder vermeld, wordt aangeraden om de beschrijving van het uitvaartproces zoals nu opgenomen bij productsystemen, als inleiding bij de systeemgrenzen te plaatsen.
Gedaan.
Een visueel schema van die voorbereidende fase en de uitvaart zelf, inclusief de plaats van de uitvaarttechnieken hierin, zou veel verduidelijken. De technieken zelf moeten in dit schema niet in detail worden toegelicht. Op deze manier wordt duidelijk welke fasen in de levenscyclus al dan niet meegenomen worden, welke fasen misschien onafhankelijk zijn van de gekozen uitvaarttechniek, enz.
Gedaan.

Allocatie procedures
De allocatie procedures voor recyclage zijn duidelijk omschreven, inclusief de redenen voor de keuze voor een bepaalde procedure. Eventueel kan de specifieke procedure benoemd worden, met referentie naar de gangbare benamingen.
De allocatieprocedures voor andere aspecten (bv. landgebruik bij meerdere personen in eenzelfde graf) worden benoemd, hetzij in dit hoofdstuk hetzij in annex.

Impact assessment methodologie
Het is niet duidelijk welke methodologie gebruikt werd voor de basisberekeningen en profielen, dan wel voor de gevoeligheidsanalyses. De uitleg zoals opgenomen in par. 2.2 komt niet overeen met die in hoofdstuk 3 en met de resultaten in tabel 3 hoofdstuk 5. Het is belangrijk dat hier duidelijk en correct wordt aangegeven dat de basisberekeningen met de ReCiPe methode worden uitgevoerd én dat de vergelijking van de resultaten van deze update met de oorspronkelijke studie en de gevoeligheidsanalyse op basis van de CML-LCA 2 methode is gebaseerd.
Je hebt helemaal gelijk. ReCiPe is in dit onderzoek gehanteerd als basismethode. Ik heb de beschrijving in 2.2 aangepast.
Bij referentie naar de ReCiPe-methodologie wordt best ook het versienummer toegevoegd omdat deze methode regelmatig wordt geüpdate.
Gedaan.

Data en data kwaliteitseisen
De data kwaliteitseisen zijn duidelijk gerapporteerd. Er wordt terecht opgemerkt dat de 3 technologieën niet dezelfde maturiteit hebben, met name het resomeren is nog in ontwikkeling. Hoofdstuk 4 vermeldt dan wel dat aangenomen wordt dat het resomatieproces in eenzelfde fase van technologische ontwikkeling zit als het crematie proces. Mogelijk kan een gevoeligheidsanalyse gedaan worden om af te toetsen of mogelijke veranderingen/verbeteringen aan de resomatie technologie een significante invloed hebben op de conclusies.
In de voorgaande studie hebben we reeds onderzocht wat de impact is van de procesvariabelen bij resomeren. We zullen de resultaten van deze eerdere gevoeligheidsanalyses duidelijker en uitgebreider bespreken in het hoofdstuk van het huidige rapport.

Aannames en ontbrekende data
Er moet gedocumenteerd worden hoe omgegaan wordt met ontbrekende data. Voor elk unit proces moeten ontbrekende data worden geïdentificeerd, en moet voor ontbrekende data worden aangegeven en onderbouwd of deze al dan niet worden ingevuld (al dan niet met een nulwaarde) en waarom een bepaalde berekende waarde wordt aangenomen.

Aannames voor specifieke data staan meestal goed gedocumenteerd in hoofdstuk 4. We raden wel aan om gevoeligheidsanalyses te doen voor die aannames die een significante invloed kunnen hebben op het eindresultaat en de conclusies van de studie. Daarom is het nuttig een hotspotanalyse toe te voegen aan de rapportage voor elk van de technieken. Op basis daarvan kan beslist worden welke gevoeligheidsanalyse nuttig zijn. We raden daarom aan een hotspot analyse uit te voeren, voorafgaand aan de vergelijkende analyse. Daarnaast s het aangewezen om bij aannames duidelijk aan te geven of deze al dan niet belangrijk zijn voor het resultaat (o.b.v. de hotspotanalyse en gevoeligheidsanalyses voor die aannames die betrekking hebben op een hot spot).
Ok, hotspotanalyse toegevoegd.

Type van kritische review
Par. 2.1 vermeldt de kritische review en de gegevens van de reviewer. Conform ISO is het misschien duidelijker om dit op het einde van dit hoofdstuk onder een aparte hoofding te vermelden. Dit is niet echt noodzakelijk, maar bevordert wel de consistentie met de indeling conform ISO en dus de leesbaarheid.
Gedaan.

I.iiData inventarisatie (Life cycle inventory analysis)

ISO vraagt om bij gebruik van data uit publieke bronnen te refereren naar de bron. Voor data die significant zijn voor de conclusies van de studie moet aangegeven worden op welke manier deze werden ingezameld (tijd, datakwaliteit etc.). Wanneer deze niet voldoen aan de data kwaliteitseisen moet dit duidelijk worden vermeld.

Data collectie procedure
Par. 3.1 beschrijft algemeen de gebruikte databronnen en de manier waarop specifieke data werden ingezameld. De uitleg hierover is duidelijk, maar zou beter op zijn plaats staan als inleiding van hoofdstuk 4. Om de leesbaarheid te

bevorderen, raden we aan hoofdstuk 3 enkel te focussen op de LCA-methodologie of nog beter om de elementen beschreven in hoofdstuk 3 te integreren in hoofdstukken 4 (data) en 5 (LCIA methodologie).
We hebben er bewust voor gekozen om dit niet te doen, omdat we het proces van de dataverzameling en de analyses los willen vertellen van de inhoud (systeem- en databeschrijving) en de resultaten (van de LCIA). We hebben dit daarom niet aangepast.

Databronnen
Hoofdstuk 4 geeft een duidelijke beschrijving van de specifieke gegevens (voorgronddata), de aannames en berekeningen die gemaakt werden en gegevensbronnen per unit process. Een samenvattend overzicht hiervan is opgenomen in tabelvorm in Annex D.
De achtergronddata worden echter onvoldoende beschreven zowel in hs. 4 als in Annex D. Er wordt enkel verwezen naar Ecoinvent 2 (welke versie?) als bron van achtergronddata, maar binnen deze databank bestaan soms verschillende mogelijkheden voor eenzelfde unit process. Zeker voor de belangrijkste unit-processes, maar eigenlijk voor alle processen, is het aangewezen om ook te refereren naar de specifieke datarecord uit Ecoinvent. We raden om transparant te rapporteren over de gebruikte achtergronddata per unit process in de tabellen.

> *Bv. voor de grafsteen is aangegeven dat die bestaat uit natuursteen met betonnen fundering. Welke Ecoinvent record wordt hiervoor gebruikt?*
> *Bv. Welke Ecoinvent records zijn gebruikt voor de elektronische componenten van een crematieoven?*

Om reden van de leesbaarheid voor de leek hadden we de exacte proceskaarten niet genoteerd, maar de vertaling gemaakt naar “gewonemensentaal”. Maar je hebt gelijk, omwille van de transparantie en controleerbaarheid is het goed om wel ook de ecoinvent records te vermelden. We hebben hiervoor een extra kolom toegevoegd in Annex D.

Aardgasverbruik voor crematieproces is opgegeven in MJ en m³, voor resomatie enkel in m³. Misschien voor consistentie beiden in zelfde eenheid opgegeven?
Dit komt omdat we voor cremeren de input aangeleverd kregen in de vorm van MJ’s en voor resomeren in m3. Als we de data van resomeren ook in de andere eenheid weergeven, geeft dat een verkeerd beeld van de input die we gekregen hebben. Daarom laten we het zo.

Detailopmerking: Om onduidelijkheid te vermijden, is het misschien verduidelijkend om boven of in de tabellen in Annex D duidelijk aan te geven dat de gegevens gerelateerd zijn aan de functionele eenheid.
Gedaan.

Calculatie procedures
De berekening van specifieke gegevens is duidelijk beschreven. Voor bepaalde processen/modelleringen zijn de berekeningen echter onvoldoende gedocumenteerd. Het is bv. onduidelijk op welke manier het graaf-proces is gemodelleerd. Er wordt verwezen naar de diepte en oppervlakte, en naar het feit dat dit mechanisch gebeurd met een shovel. Ook hier is verduidelijking nodig: datarecord shovel Ecoinvent, of berekening van dieselverbruik o.b.v. afmetingen?
Bij de crematie vermeldt tabel 11 (Annex D) duidelijk de hoeveelheid staal en

componenten relevant voor eindbehandeling van machines, maar niet welke die eindbehandeling is en hoe die is gemodelleerd.
Zie eerdere opmerking; dit is toegevoegd aan Annex D.

Er wordt bij het crematieproces aangegeven dat de studie zich richt op de warme startovens, welke 70% uitmaken van de gebruikte ovens (30% koude startovens). We raden aan om hierbij duidelijk aan te geven welke van de 2 opties gevolgd is:

- 100% warme startovens (is worst-case scenario) -> te prefereren optie;
- 70% warme startovens; 30% koude startovens verondersteld als te verwaarlozen.

Optie 1 is gevolgd; zin aangepast ter verduidelijking.

Voor het resomatieproces is de hoeveelheid opgegeven voor hergebruik rvs, ijzerschroot, kobaltchroom en titanium: refereert deze hoeveelheid naar de prothesen die potentieel (80%) hergebruikt worden? Hoe zijn deze hoeveelheden berekend? 80% lijkt een hoog cijfer voor hergebruik, is dit gedubbelcheckt? Of is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om na te gaan of dit een belangrijke factor is die het resultaat beïnvloedt?
Inderdaad, deze fractie is opgegeven door Resomation Ltd en in het standaardscenario gehanteerd. Hergebruik lijkt ons twijfelachtig, en daarom is de gevoeligheidsanalyse toegevoegd waarbij geen hergebruik maar gewone recycling gehanteerd is.

I.iii Life cycle impact assessment

"An LCIA that is intended to be used in comparative assertions intended to be disclosed to the public shall employ a sufficiently comprehensive set of category indicators. The comparison shall be conducted category indicator by category indicator.
An LCIA shall not provide the sole basis of comparative assertion intended to be disclosed to the public of overall environmental superiority or equivalence, as additional information will be necessary to overcome some of the inherent limitations in the LCIA. Value-choices, exclusion of spatial and temporal, threshold and dose-response information, relative approach, and the variation in precision among impact categories are examples of such limitations. LCIA results do not predict impacts on category endpoints, exceeding thresholds, safety margins or risks.
Category indicators intended to be used in comparative assertions intended to be disclosed to the public shall, as a minimum, be:

- scientifically and technically valid, i.e. using a distinct identifiable environmental mechanism and/or reproducible empirical observation;
- environmentally relevant, i.e. have sufficiently clear links to the category endpoint(s) including, but not limited to, spatial and temporal characteristics.

Category indicators intended to be used in comparative assertions intended to be disclosed to the public should be internationally accepted.
Weighting shall not be used in LCA studies intended to be used in comparative assertions intended to be disclosed to the public.

An analysis of results for sensitivity and uncertainty shall be conducted for studies intended to be used in comparative assertions intended to be disclosed to the public."

Hoofdstuk 3 beschrijft de impact analyse methodes die worden gebruikt en de methode toegepast voor de weging van de milieu-impactcategorieën, de schaduwprijzen. De beschrijving is correct en duidelijk, echter zou beter op zijn plaats staan als inleiding bij hoofdstuk 5.
Er wordt wel kort vermeld dat ISO de weging niet ondersteunt. We raden aan om dit nog meer te benadrukken en ook de consequenties hiervan duidelijk te rapporteren, namelijk dat publicatie van de resultaten van deze studie best gebeurt op basis van de milieuprofielen met alle impactcategorieën naast elkaar (impact categorie per impact categorie) en niet op basis van de gewogen resultaten.
Het kopje "review" in H2 is uitgebreid. Daarnaast is er zowel in de samenvatting, als in de inleiding en conclusies extra informatie over de negatieve consequenties van weging toegevoegd.

In tabel 2 moet de bron voor de categorieën landgebruik (landbouw en stedelijk), landtransformatie (natuur) en uitputting watervoorraden nog aangevuld worden (deze staan nu nog in comments).
Toegevoegd.

Een hotspot analyse voor elk van de 3 technieken geeft een duidelijk overzicht van de hotspots in de 'levenscyclus' van elk van deze technieken. Daarnaast verduidelijkt dergelijke hotspotanalyse het vergelijkend milieuprofiel, omdat vrij snel duidelijk wordt welke de oorzaken zijn van de verschillen tussen de technieken. Het rapport beschrijft enkele hotspots in de vergelijking per milieu-impactcategorie, maar dit is ons inziens te beknopt en te weinig transparant. We raden dan ook aan de impact analyse te beginnen met een hot spot analyse per techniek, waarin per techniek de belangrijkste factoren en processen worden geïdentificeerd (individuele milieuprofielen).
Ok, hotspotanalyse toegevoegd.

> Bv. Par. 4.1.1 en tabel 5 in Annex D geven de samenstelling van lichaam en overblijfselen. Voor de geresomeerde overblijfselen zijn minder gegevens bekend, t.t.z. voor minder stoffen. Heeft het ontbreken van gegevens (er zijn voor veel minder stoffen cijfers beschikbaar) voor het resomeren een invloed op de resultaten? Hiervoor zou een hotspotanalyse ook verhelderend zijn.

Besproken bij de gevoeligheidsanalyses.

Milieu-effect van de 3 uitvaarttechnieken – per effectcategorie (par. 5.1.1)
Tabel 3 p. 35: Voor de volledigheid ook de LCIA methode vermelden in de tabelhoofding of in tabel zelf (ReCiPe?). Een visuele voorstelling van het vergelijkend milieuprofiel, naast de tabel met absolute waarden, levert een toegevoegde waarde voor de lezer.
Vermelding van LCIA-methode toegevoegd. Een visuele voorstelling is met opzet niet toegevoegd omdat dit voor een overdosis aan figuren kan zorgen voor de lezer. We hebben daarentegen de focus gelegd op de procesanalyse, om aan te tonen waar deze getallen vandaan komen en het zodoende begrijpelijker te maken voor de lezer.

Opletten met verwijzingen naar tabellen: deze zijn niet altijd correct.
Inderdaad, dank voor het opmerken! Alle tabelverwijzingen zijn gecontroleerd en verbeterd waar nodig.

Op p. 36 en ook in de conclusies wordt voor elk van de technieken aangegeven voor hoeveel effectcategorieën ze de hoogste bijdrage leveren. Dergelijke conclusies zijn niet altijd correct volgens ISO omdat ze impliciet een weging met weegfactor 1 veronderstellen.
Een goede suggestie, er is een zin toegevoegd ter nuance.

P. 36 tweede paragraaf vermeldt "*Per effectcategorie zijn er vaak een paar processen…en worden hieronder een voor een kort besproken*": naar welke kolom van tabel 3 wordt hierbij verwezen? Deze lijkt te ontbreken.
Correct, deze kolom was verwijderd. Zin nu ook verwijderd.

Aantasting ozonlaag: Misschien iets meer specifiek het transport van gas uitleggen -> pijpleidingen, …?
Vrijkomen van CFK's, zin toegevoegd.

Er wordt, bv. bij de bespreking van humane toxiciteit, verwezen naar positieve en negatieve milieu-impacts die elkaar deels opheffen. Een hotspot analyse en individueel milieuprofiel (grafische voorstelling) zou dit verhelderen, omdat daarin de milieu-impacts en credits apart in de figuur zijn weergegeven.
Ok, hotspotanalyse toegevoegd.

Opmerking bij uitputting watervoorraden: deze opmerking staat zeker op zijn plaats en mag zeker vermeld worden. Om dit meer te onderbouwen kunnen hier de absolute cijfers over waterverbruik per kg katoen (bv.) ook opgenomen worden, vergelijken met de 2000 liter water voor resomatie.
Gedaan.

Milieu-effect van de 3 uitvaarttechnieken – schaduwprijzen (par. 5.1.2)
Er wordt duidelijk vermeld dat deze weging niet conform ISO is. We hebben dit luik wel bekeken in de review, maar minder in detail dan de overige stappen omwille van het niet ISO-conform karakter van de weging.

Kleine bedenking: Omdat de ReCiPe methode de basismethode is voor deze studie, lijkt het logischer om deze steeds als eerste weer te geven in figuren (waar deze nu laatst staat).
Er is met opzet gekozen voor een andere weergave. Omdat de CML-resultaten de "oude" resultaten vertegenwoordigen en de ReCiPe-resultaten hiervan een update zijn, hebben we gekozen voor een chronologische weergave met de oude resultaten links en de nieuwere resultaten rechts.

Tabel 4: ReCiPe methode vermelden in tabel of tabelhoofding.
Gedaan.

Figuur 8: Waarom is landgebruik bij crematie zoveel hoger dan bij resomatie? -> een hotspotanalyse zou dit ook verduidelijken.

Bij cremeren is veel land nodig voor productie van natuurlijke materialen voor de kist en de lijkhoes, m.n. katoen en zachthout. Zin toegevoegd aan de tekst: bij resomeren is dit effect kleiner dan bij cremeren en begraven, omdat aangenomen is dat bij resomeren de kist meermaals hergebruikt kan worden en omdat de lijkhoes van ander materiaal gemaakt wordt.

Gevoeligheidsanalyses (par. 5.2)
De gevoeligheidsanalyses die zijn gedaan, zijn inderdaad de meest logische en hebben betrekking op factoren die een grote invloed (kunnen) hebben op het milieuprofiel. De resultaten van de gevoeligheidsanalyses worden echter alleen getoond voor de gewogen milieuprofielen. Om het ISO-conforme karakter van de studie te garanderen, raden we aan om de resultaten van de gevoeligheidsanalyses ook te tonen per effectcategorie. Zeker omdat het hier gaat om een vergelijkende analyse van alternatieve technieken. Dit geldt voor alle gevoeligheidsanalyses die worden gerapporteerd.
Goed punt, gedaan.

Er wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor het gasverbruik bij crematie, omdat daar grote verschillen in gegevens voor bestaan afhankelijk van het aantal crematies dat wordt uitgevoerd. Is het gasverbruik bij resomatie niet afhankelijk van het aantal?
Bij resomeren is dit veel minder sterk het geval, omdat er geen sprake is van een efficiëntieverbetering naarmate er meerdere personen na elkaar geresomeerd worden; de resomator hoeft niet voorverwarmd te worden. Er is zodoende een duidelijk gemiddelde hoeveelheid gasverbruik bij resomeren, in tegenstelling tot de grote variaties bij cremeren.
Bovendien is er in de eerste studie reeds een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de specifieke hoeveelheden van grondstoffengebruik (water, gas, KOH) bij resomeren, en het leek ons nutteloos om min of meer dezelfde exercitie te herhalen. Onze interne reviewer stelde hier ook vragen over en deed ons besluiten om een paragraaf toe te voegen welke de gevoeligheidsresultaten van de vorige studie kort opnieuw bespreekt.

Het lijkt nuttig om een extra gevoeligheidsanalyse te doen voor de variatie van het gasverbruik en andere belangrijke factoren bij resomatie, omdat deze techniek nog niet op hetzelfde niveau van technologische ontwikkeling is en daardoor de inputgegevens nog (sterk) kunnen veranderen. Door een aparte gevoeligheidsanalyse te doen voor de belangrijkste factoren van het resomatieproces, kan dit onderbouwd worden.
Zie opmerking hierboven.

Figuur 14: Om verwarring te voorkomen, best in tabel of hoofding aangeven dat het gaat over de resomatietechniek.
Gedaan.

Er werden slechts enkele grove calculation checks gedaan omwille van de beperkte tijd. Daarenboven zijn onvoldoende gegevens en databronnen (Ecoinvent records voor unit processen) in het rapport opgenomen om de resultaten volledig te herrekenen.

I.iv Life cycle interpretation

Algemene opmerking: Bij de interpretatie van resultaten en de conclusies is het onduidelijk welke significantie intervallen gedefinieerd zijn.
Dit was ook een suggestie van onze interne reviewer. We hebben een significantie-paragraaf toegevoegd aan hoofdstuk 2 en de siginificantiemarges meegenomen in de resultaatbesprekingen in hoofdstuk 5.

Conclusies (par. 6)
Hier dient dezelfde opmerking gemaakt te worden als eerder: de 3 uitvaarttechnieken worden vergeleken op basis van het aantal effectcategorieën waarvoor ze de hoogste bijdrage leveren, wat een impliciete weging inhoudt. Er wordt aangeraden om de conclusies meer op het niveau van de effectcategorieën te formuleren.
Gedaan.

Er wordt terecht opgemerkt dat de weging (obv schaduwprijzen) niet wordt ondersteund door ISO. De conclusies die worden gerapporteerd hebben echter allemaal betrekking op de gewogen resultaten. We raden sterk aan om de conclusies vooral te focussen op de individuele effectcategorieën, omdat het hier gaat om een vergelijkende analyse van 3 alternatieve technieken.
Gedaan.

B Milieueffectcategorieën

De in deze studie gehanteerde milieuthema's ('milieueffectcategorieën') zijn hieronder kort toegelicht.

Climate change

Uses commonly accepted CO2 equivalency factors published in the IPCC report 2007. Includes greenhouse gases (GHG): CO2, CH4, N2O, CFCs, HCFCs, HALONs, etc.

Ozone depletion

The characterization factor for ozone layer depletion accounts for the destruction of the stratospheric ozone layer by anthropogenic emissions of ozone depleting substances.

Acidification

Atmospheric deposition of inorganic substances, such as sulfates, nitrates, and phosphates, cause a change in acidity in the soil. For almost all plant species there is a clearly defined optimum of acidity. A serious deviation from this optimum is harmful for that specific kind of species and is referred to as acidification.

Eutrophication

Aquatic eutrophication can be defined as nutrient enrichment of the aquatic environment. Eutrophication in inland waters as a result of human activities is one of the major factors that determine its ecological quality. On the European continent it generally ranks higher in severity of water pollution than the emission of toxic substances. The long-range character of nutrient enrichment, either through air or rivers, implies that both inland and marine waters are subject to this form of water pollution, although due to different sources and substances and with varying impacts.

Toxicity

The characterization factor of human toxicity and ecotoxicity accounts for the environmental persistence (fate) and accumulation in the human food chain (exposure), and toxicity (effect) of a chemical. Fate and exposure factors can be calculated by means of 'evaluative' multimedia fate and exposure models, while effect factors can be derived from toxicity data on human beings and laboratory animals.

Human health damage due to PM10 and ozone

Fine Particulate Matter with a diameter of less than 10 µm (PM10) represents a complex mixture of organic and inorganic substances. PM10 causes health problems as it reaches the upper part of the airways and lungs when inhaled. Secondary PM10 aerosols are formed in air from emissions of sulfur dioxide (SO2), ammonia (NH3), and nitrogen oxides (NOx) among others. The effects of chronic PM exposure on mortality (life expectancy) seem to be attributable to PM2.5 rather than to coarser particles. Particles with a diameter of 2.5–10 µm (PM2.5–10), may have more visible impacts on respiratory morbidity PM has both anthropogenic and natural sources.

Ozone is not directly emitted into the atmosphere, but it is formed as a result of photochemical reactions of NOx and Non Methane Volatile Organic Compounds (NMVOCs). This formation process is more intense in summer. Ozone is a health hazard to humans because it can inflame airways and damage lungs.

Ozone concentrations lead to an increased frequency and severity of humans with respiratory distress, such as asthma and Chronic Obstructive Pulmonary Diseases (COPD). Ozone formation is a non-linear process which depends on meteorological conditions and background concentrations of NOx and NMVOCs.

Ionizing radiation

The damage to Human Health related to the routine releases of radioactive material to the environment.

Land use

The land use impact category reflects the damage to ecosystems due to the effects of occupation and transformation of land. Although there are many links between the way land is used and the loss of biodiversity, we concentrate on the following mechanisms:

1. occupation of a certain area of land during a certain time;
2. transformation of a certain area of land.

Both mechanisms can be combined, often occupation follows a transformation, but often occupation occurs in an area that has already been converted (transformed).

Water depletion

Water is a scarce resource in many parts of the world and extracting water in a dry area can cause very significant damages to ecosystems and human health. This is a midpoint indicator that simply expresses the total amount of water consumption.

Mineral resource depletion

The unit of this characterization factor is 1/$.yr, The method uses increased marginal costs as a result of mining the deposit and the slope (relation grade-yield) divided by availability as midpoint indicator.similar to all other midpoint impact categories the midpoints are presented as a substance equivalent, in this case iron equivalents.

Fossil fuel depletion

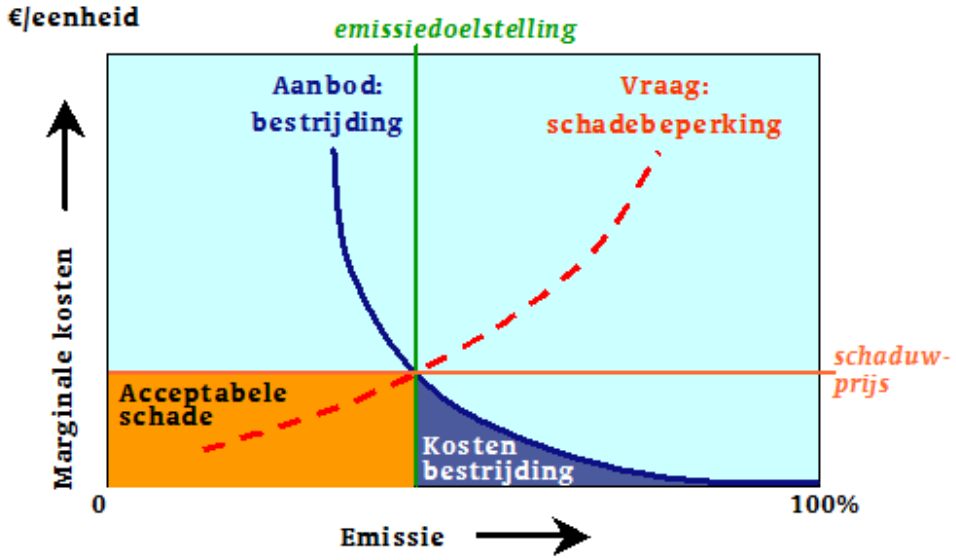
The term fossil fuel refers to a group of resources that contain hydrocarbons, formed from the fossilised remains of dead plants. The group ranges from volatile materials (like methane), to liquid petrol, to non-volatile materials (like coal). As reference resources is chosen: “Oil, crude, feedstock, 42 MJ per kg, in ground”.

C Schaduwprijzen

Milieukosten zijn externe kosten

Economische activiteiten gaan bijna zonder uitzondering gepaard met een zekere belasting van mens of milieu. Voor de mens betreft het de aantasting van gezondheid en veiligheid, bij milieu gaat het om verstoring van ecosystemen, vaak gekwantificeerd in vermindering van voorraden schone lucht, water, bodem en (a)biotisch materiaal. Kosten van belasting van milieu en mens worden niet via de markt in de productprijs verdisconteerd. Daarom worden het externe kosten genoemd, in tegenstelling tot de interne productiekosten.

De kosten van milieubelasting hangen af van de prijs die de samenleving voor een schoon milieu over heeft en is situatie- en momentgebonden. Over het algemeen zal naarmate de milieubelasting hoger is, de bereidheid groter zijn om een hogere prijs te betalen voor beperking van de milieuschade. Omdat de externe kosten niet gereguleerd worden door de economische markt, dient de overheid te bepalen in welke mate de schade beperkt moet worden. Eén van de manieren om dat te doen is het formuleren van emissie- en andere beleidsdoelstellingen. Wat milieu betreft, is de schaduwprijs de hoogste kostprijs per eenheid milieuschade die de overheid nog acceptabel vindt. Op deze manier komt een vraagcurve naar de beperking van milieuschade tot stand (zie Figuur C1).



Figuur C1 Vraag naar beperking en aanbod van bestrijding van emissies op de virtuele milieumarkt vormen een evenwichtsprijs.

Als een overheidsdoelstelling het evenwichtspunt van vraag en aanbod kruist zal de schaduwprijs bij deze doelstelling gelijk zijn aan de evenwichtsprijs.

Naast de vraag naar emissiebeperking is er een aanbod van emissiebestrijdingsmogelijkheden, dat voor elk niveau van bestrijding ook een bepaalde prijs heeft. Over het algemeen neemt de prijs toe naarmate de verlangde reductie groter is. Als er een markt voor milieu zou zijn, wordt door vraag en aanbod een evenwichtsprijs gevormd op het snijpunt van de curven van marginale schadebeperking en marginale bestrijdingskosten.

Een kosteneffectieve schaduwprijs benadert de evenwichtsprijs
Een overheid die kosteneffectief wil werken plaatst haar emissiedoelstelling zo dat deze op het snijpunt uitkomt zodat vraag en aanbod in evenwicht zijn. Deze totale kosten betreffen de kosten van genomen bestrijdingsmaatregelen (het oppervlak onder de marginale bestrijdingscurve rechts van de emissiedoelstelling) plus de geleden milieuschade als gevolg van onbestreden emissies, het oppervlak onder de schaduwprijs links van de doelstelling.
Naast het daadwerkelijk doorberekenen van de schaduwprijs, via bijv. een milieuheffing, is de schaduwprijs, net als de marktprijs, een eenvoudig te interpreteren signaal van economisch schaarste. In studies met variërende onderwerpen als Life Cycle Assessments, technologische ontwikkeling, duurzaamheidstrategieën of milieuvriendelijk ontwerpen, waarin milieueffecten van verschillende aard met elkaar vergeleken dienen te worden, kan de schaduwprijs eenvoudig ingezet worden om de milieuschade te berekenen. Dit gebeurt door de emissies te vermenigvuldigen met de schaduwprijs.
De zo berekende milieuschade, ook wel milieukosten of schaduwkosten genoemd, geeft een indicatie van de milieuverliezen rond de huidige of toekomstige emissiedoelstelling.

Voordelen van de schaduwprijzenmethode
De schaduwprijs heeft een neutrale eenheid (€) waarmee verschillende milieueffecten onder een noemer gebracht kunnen worden. Met behulp van de schaduwprijzenmethode kunnen verschillende milieueffectcategorieën gemakkelijk gewogen worden. De schaduwprijs is, evenals de marktprijs, een eenvoudig te interpreteren signaal van economische schaarste. Voor studies waarbij een aantal alternatieven vergeleken worden op milieueffecten van diverse aard, zoals LCA-studies, is de schaduwprijs een robuuste en elegante tool. De milieueffect scores worden elk vermenigvuldigd met een passende schaduwprijs. Dit resulteert in een gewogen milieueffect.
De schaduwprijs heeft tevens als voordeel dat deze aansluit bij het gebruik van marktconforme instrumenten. Ook sluit het aan bij de huidige economische realiteit in het bedrijfsleven doordat het de externe kosten zichtbaar maakt. Het ondersteunt integrale analyses om doorzichtige resultaten op te leveren waar beleid en bedrijfsleven hun eigen activiteiten en de relatie met milieuthema's in kunnen herkennen.

Methode om de schaduwprijs voor een bepaald milieueffect vast te stellen
De schaduwprijs kan bepaald worden door schatting van de milieuschade rond de vastgestelde emissiedoelstellingen. De (monetaire) waarde van milieuschade is echter moeilijk vast te stellen. Onder de aanname dat de overheid kosteneffectief werkt kan de schaduwprijs ook afgeleid worden door de bestrijdingskosten te combineren met de gehanteerde emissiedoelstellingen.
De emissiebestrijdingskosten of preventiekosten zijn nauwkeuriger vast te stellen. Hiervoor kan worden uitgegaan van de hoogst toelaatbare kosten voor het bestrijden van bepaalde milieueffecten, de zogenaamde marginale kosten die door de maatschappij moeten worden gemaakt om aan de door de overheid gewenste emissiedoelstelling te voldoen. Verondersteld wordt, dat de overheid c.q. de maatschappij zo rationeel is om haar doelstelling op het punt van de evenwichtsprijs te leggen en dat de positie van dit punt bekend is. Met andere woorden: dat de marginale milieuschade gekwantificeerd is.

Nu is dit niet feitelijk het geval, waardoor de schaduwprijs die afgeleid wordt uit de combinatie van huidige beleidsdoelstelling en marginale bestrijdingscurve meer geïnterpreteerd dient te worden als een maatstaf van de huidige beleidspreferenties. De schaduwprijs is vooral een inschatting van de evenwichtsprijs op basis van het huidige beleid. Aangezien beleidsmakers kosteneffectief te werk wensen te gaan is de consequentie van de huidige doelstelling dat de marginale schade blijkbaar op het niveau van de schaduwprijs wordt ingeschat. De werkelijke milieuschade zoals ervaren door de samenleving kan van een heel ander niveau zijn.

Referenties van Bijlage C

CE, Guidebook Shadow prices – weighting and valuation of emissions and environmental impacts (in Dutch: Handboek schaduwprijzen – waardering en weging van emissies en milieueffecten). CE, Delft, the Netherlands, 2010, CE № 10.7788.25a.

CE, Handbook on estimation external costs in the transport sector, 2008

ExternE: Externalities of Energy Methodology – 2005 Update. Peter Bickel and Rainer Friedrich, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) Universität Stuttgart, Germany, 2005.

Harmelen, A. K. v., T. N. Ligthart, S. M. H. v. Leeuwen, and R. N. v. Gijlswijk, 2007, The price of toxicity, Methodology for the assessment of shadow prices for (eco-) toxicity and abiotic depletion, co-Efficiency in Industry and Science, Quantified Eco-Efficiency: p. 105-125.

HEATCO - Economic values for key impacts valued in the Stated Preference surveys, 2006

Horssen, A.v., A. K. v. Harmelen, 2008. Monetization of Environmental Impacts in the RWS Catalogue Environmental Measures. TNO report 2008-U-R1325/B.

NEEDS: New Energy Externalities Developments for Sustainability (NEEDS) - RS1a Deliverable № 6.1External costs from emerging electricity generation technologies. Sixth Framework Programme, Project № 502687, March 24, 2009.

NewExt: New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) Universität Stuttgart, Germany, 2009.

D Specifieke inputgegevens voor de LCA-berekeningen

Deze bijlage bevat alle getallen die zijn gebruikt als input van de LCA-berekeningen. InTabel 6 en Tabel 7 worden de samenstelling van respectievelijk de menselijke en niet-menselijke materialen behorende bij de overledene opgesomd. Tabel 8 biedt achtergrond voor de berekeningen met het stortplaatsmodel. De gehanteerde getallen met betrekking tot metaalrecycling zijn gegeven in Tabel 9. Tabel 10 gaat over rookgasemissies. Tot slot bieden Tabel 11 tot en met Tabel 14 de specifieke inputgegevens die zijn gebruikt voor de LCA-berekeningen.
Naast de genoemde bronnen, zijn de rest van de gepresenteerde gegevens afkomstig van antwoorden op door TNO opgestelde vragenlijsten, door: Yarden, Resomation Ltd., Orthometals, Genius Loci , Groentotaal de Boer, Unigra B.V., Facultatieve Technologies, IFZW, De Gedenkgroep, SVT, LOB, Honor Piëteitstechniek, Hesselmans International, Funeral Products en Aqua Omega. Minder belangrijke gegevens (bijvoorbeeld hoeveel kleding ongeveer weegt) werden opgezocht op internet.
Een toelichting op de belangrijkste aannames en onderbouwing voor deze getallen en de systeembeschrijving zijn terug te vinden in Hoofdstuk 4.

Tabel 6 Samenstelling van lichaam en overblijfselen voor de verschillende procesonderdelen. De uitleg achter deze tabel is gegeven in paragraaf 4.1.1. De eenheid is: gram (drooggewicht).

Proces-stap	*Begraven van lichaam*	*Crematieas*	*Geresomeerde overblijfselen*
Bron:	*Forbes (1987), Slooff* et al. *(2004) & Axelrad* et al. *(2009)*	*Smit (1996) [warmestartoven, na vermaling; medianen]*	*Berekening gebaseerd op lichaamssamen-stelling & informatie van Resomation*
Al	0,06	35	
As	0	0,01	
Au	<0,01	0,44	
Ba	0,02	1,6	
Be	<0,0001		
Bo	<0,05		
Br	0,2		
Cd	0,05	0,00	
Co	<0,01	0,04	
Cr	<0,01	0,40	
Cs	<0,01		
Cu	0,07	8,8	0,035
Fe	4,2		
I	0,01		
Mn	0,01	7,3	0,005
Mo	<0,01	0,03	
Ni	0,01	1,8	
Pb	0,12	0,06	0,120
Ra	<0,0001		
Sb	0	0,03	
Se	0	0,00	

Proces-stap	*Begraven van lichaam*	*Crematieas*	*Geresomeerde overblijfselen*
Si	18		9,0
Sn	<0,02	0,29	
Sr	0,32		0,159
Te	0	0,00	
U	<0,0001		
V	0	0,20	
Zn	2,3	2,7	1,1
Hg	0,00041	0,0	
PCBs	0,000636		
C	16000		
Ca	1100		1100
Cl	95	11	47
Fl	2,6	0,02	1,3
H	1944		5,5
K	140		0,000
Mg	19		9,5
N	1800	13	0,00
Na	100		50
O	2556		1144
P	500	2910	500
Fosfaten		0,14	
S	140	7,2	70
Totaal (kg)	**24,4**	**3,0**	**2,9**

Tabel 7 Gehanteerde getallen voor niet-menselijke materialen die aanwezig zijn in of bij het menselijk lichaam. De uitleg van de belangrijkste aannames op basis waarvan deze tabel is samengesteld, wordt gegeven in paragraaf 4.1.2.

Materiaal	*Hoeveelheid*	*Eenheid*	*Opmerking*
Kobaltchroom	0,533	kg	(Orthometals, 2010)
Roestvast staal[21]	0,867	kg	(Orthometals, 2010); een deel hiervan is afkomstig van metalen handgrepen; aanname: 50%
Titanium[22]	0,800	kg	(Orthometals, 2010)
IJzerschroot	1,333	kg	(Orthometals, 2010)
Zink	0,467	kg	(Orthometals, 2010); ornamenten
Goud	0,283	g	(Morren, 2010)
zilver	0,124	g	(Morren, 2010)
Platina	0,017	g	(Morren, 2010)
Palladium	0,101	g	(Morren, 2010)
Methylmethacrylaat	36	g	Kunstgebit (Veldhuis, 2010). Gedragen 50% van de overledenen (CBS, 2003), dus 18 g per *gemiddelde* overledene.
Kwik	1,5	g	Tandvullingen (Molenaar & al., 2009)
Katoen	0,8	kg	Kleding; geschat getal op basis van internet
Viscose	0,15	kg	Kleding; geschat getal op basis van internet

[21] Roestvast staal is meegenomen als 63% primair (Steel, converter, chromium steel 18/8, at plant/RER) en 37% secundair (Steel, electric, chromium steel 18/8, at plant/RER)
[22] Titanium mist in Ecoinvent, en daarom werd een titanium-record uit de IDEMAT-database gekopieerd en aangepast qua elektriciteit en transport naar Ecoinvent.

Leer	0,36	m^2	Schoenen (Remmerswaal & Heuvel, 2005); uitgedrukt als 1,5 kg wanneer een massagetal vereist was (geschat getal op basis van internet)

Tabel 8 Gebruikte waarden in het stortplaatsmodel waar de milieueffecten van het begraven van menselijke overblijfselen mee berekend is. Een toelichting op deze waarden is gegeven in paragraaf 4.1.4.

Element/stof	*k-waarde*	*Bron*
Cl	96,55%	(Eggels & Ven, 2000)
SO_4	34,62%	(Eggels & Ven, 2000)
PO_4	34,62%	Kopie van SO_4
As	0,17%	(Eggels & Ven, 2000)
Cd	0,05%	(Eggels & Ven, 2000)
Cr	0,08%	(Eggels & Ven, 2000)
Cu	0,14%	(Eggels & Ven, 2000)
Hg	0,50%	(Eggels & Ven, 2000)
Ni	0,12%	(Eggels & Ven, 2000)
Pb	0,05%	(Eggels & Ven, 2000)
Zn	0,02%	(Eggels & Ven, 2000)
Na	2,00%	Plastic afvalmodel
Ba	0,00%	Plastic afvalmodel
Fe	0,50%	Plastic afvalmodel
Mn	0,00%	Plastic afvalmodel
Sb	0,00%	Plastic afvalmodel
Se	0,00%	Plastic afvalmodel
Zware metalen	1%	Plastic afvalmodel

Tabel 9 Recyclingswaarden. De volgende output- en inputrecords van de database Ecoinvent zijn gehanteerd voor recycling. Een toelichting op de gevolgde methodiek is gegeven in paragraaf 4.1.5.

Materiaal	*Outputs/ vermeden producten*	*Hoeveelheid (kg)*	*Inputs*	*Hoeveelheid (kg)*	*Berekening/ origine*
Chroom	Chromium, at regional storage/RER	0,72	Nickel, secondary, from electronic and electric scrap recycling, at refinery/SE	0,8	Nikkel inputs als proxy. Secundair gehalte: 20% (NCMS, 2010). Voor dit secundair gehalte is 0,2 kg *Iron scrap, at plant/RER* gemodelleerd.
Kobalt	Cobalt, at plant/GLO	0,612	Nickel, secondary, from electronic and electric scrap recycling, at refinery/SE	0,68	Nikkel inputs als proxy. Secundair gehalte: 32% (NCMS, 2010). Voor dit secundair gehalte is 0,32 kg *Iron scrap, at plant/RER* gemodelleerd.
Goud	Gold, primary, at refinery/GLO	0,639	Gold, secondary, at precious metal refinery/SE	0,71	Secundair gehalte: 29% (NCMS, 2010). Voor dit secundair gehalte is 0,29 kg *Iron scrap, at plant/RER* gemodelleerd.

Palladium	Palladium, at regional storage/RER	0,639	Palladium, secondary, at refinery/RER U	0,71	Goud recycling data bij gebrek aan palladium-informatie.
Platina	Platinum, at regional storage/RER	0,756	Platinum, secondary, at refinery/RER	0,84	Secundair gehalte: 16% (NCMS, 2010). Voor dit secundair gehalte is 0,16 kg *Iron scrap, at plant/RER* gemodelleerd.
Zilver	Silver, at regional storage/RE	0,639	Silver, secondary, at precious metal refinery/SE.	0,71	Goud recycling data bij gebrek aan zilver-informatie.
Roestvast staal	Steel, converter, chromium steel 18/8, at plant/RER	0,567	Steel, electric, chromium steel 18/8, at plant/RER	0,63	Secundair gehalte: 37% volgens Ecoinvent. Voor dit secundair gehalte is 0,37 kg *Iron scrap, at plant/RER* gemodelleerd.
Staal	Steel, converter, unalloyed, at plant/RER	0,567	Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER	0,63	Secundair gehalte: 37% volgens Ecoinvent. Voor dit secundair gehalte is 0,37 kg *Iron scrap, at plant/RER* gemodelleerd.
Titanium	Titanium[23]	0,61	Aluminium, secondary, from old scrap, at plant/RER	0,678	
Zink	Zinc, primary, at regional storage/RER	0,657	Lead, secondary, at plant/RER	0,73	Secundair lood als proxy; Secundair gehalte: 27% (NCMS, 2010). Voor dit secundair gehalte is 0,37 kg *Iron scrap, at plant/RER* gemodelleerd.

Tabel 10 Rookgasemissies. Paragraaf 4.3 geeft hier meer uitleg over.

Emissie naar de lucht	*Hoeveelheid*	*Eenheid*	*Opmerking*
CO_2, biogeen	30	g/m^3	Welch & Swerdlow ((Welch & Swerdlow, 2009), naar diverse bronnen) stelden vast dat het lichaam en kist samen ongeveer 100 kg CO_2 uitstoten (met uitzondering van de CO_2-uitstoot van het gas). We veronderstelden, in lijn met de massaverhouding, dat ¼ hiervan afkomstig was van de kist (en dus "normale" CO_2) en ¾ afkomst van het lichaam, als biogene CO_2.
CO_2	10	g/m^3	Van de kist; emissies van gas zijn apart geteld bij het gas zelf.
SO_2	32	mg/m^3	(Facultatieve Technologies, 2010)/ (Tauw, 2006)
CO	19	mg/m^3	(Facultatieve Technologies, 2010)/ (Tauw, 2006)
NO_x	410	mg/m^3	(Facultatieve Technologies, 2010)/ (Tauw, 2006)
Dioxines (PCDD & PCDFs)	0,05	ng/m^3	(Facultatieve Technologies, 2010)/ (Tauw, 2006)
Kwik	0,005	mg/m^3	(Facultatieve Technologies, 2010)/ (Tauw, 2006)
Koolwaterstoffen	2	mg/m^3	(Facultatieve Technologies, 2010)/ (Tauw, 2006)
Waterstofchloride	5	mg/m^3	(Facultatieve Technologies, 2010)/ (Tauw, 2006)

[23] Titanium mist in Ecoinvent, en daarom werd een titanium-record uit de IDEMAT-database gekopieerd en aangepast qua elektriciteit en transport naar Ecoinvent.

Tabel 11 Inputgegevens voor de berekeningen van begraven van één persoon.

Materiaal/ Proces	*Ecoinvent-record*	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
Lijkhoes		**22%**		(Hesselmans International, 2010)
Katoen	Textile, woven cotton, at plant/GLO	0,490	kg	(Unigra, 2010) gaf als materiaalspecificatie alleen “biologisch afbreekbaar”. Aanname: katoen.
Kist				
Spaanplaat	Particle board, indoor use, at plant/RER	28,8	kg	(Unigra, 2010): 36 kg, marktaandeel 80%. Dichtheid: circa 700 kg/m^3 (internet).
Eikenhout	Sawn timber, softwood, planed, air dried, at plant/RER	6,02	kg	(Unigra, 2010): 43 kg, marktaandeel 14%. Dichtheid: circa 780 kg/m^3 (internet).
Vurenhout	Sawn timber, softwood, planed, air dried, at plant/RER	1,8	kg	(Unigra, 2010): 30 kg, marktaandeel 6%. Dichtheid: circa 580 kg/m^3 (internet).
Zaagsel	Sawdust, Scandinavian softwood (plant-debarked), u=70%, at plant/NORDEL	0,2	kg	Kussen, aannames.
Katoen	Textile, woven cotton, at plant/GLO	1,8	kg	Bekleding. (Unigra, 2010)
Zachthout	Sawn timber, softwood, planed, air dried, at plant/RER	0,00134	m^3	Houten handgrepen; 1,1 kg (Unigra, 2010) 85% van alle kisten (Dijk & Mennen, 2002)
Roestvast staal	RVS[21]	0,433	kg	Roestvast staal handgrepen, (Orthometals, 2010); 15% van alle kisten (Dijk & Mennen, 2002). Aanname: 50% van het staal dat na een uitvaart overblijft, komt van handgrepen.
Zink	Zinc, primary, at regional storage/RER	0,467	kg	Ornamenten (Orthometals, 2010)
Graven				
Graven	Excavation, hydraulic digger/RER	3,68	m^3	Kuilafmetingen = 1,00 x 2,30 meter; gemiddelde diepte = 0,8 m (LOB, 2014); open sluiten, daarom vermenigvuldigd met 2.
Lift		**88,5%**		(Yarden, 2014)
Roestvast staal	RVS[21]	0,005	kg	50 kg voornamelijk roestvast staal (internet); aanname 10000x gebruikt.
Recycling roestvast staal	Zie Tabel 9	0,005	kg	
Monument		**66%**		(LOB, 2014)
Natuursteen	Natural stone plate, cut, at regional storage/CH	137	kg	50% stenen dekplaat; bedekt 67.5% van een graf (Yarden, 2014) van 120 x 250 cm; stel 5 cm dik = 0,101 m^3; dichtheid circa 2700 kg/^{m3} = 273 kg (x 50% = 137)
Beton	Concrete, sole plate and foundation, at plant/CH	0,0168	m^3	Fundering, 80 kg (De Gedenkgroep, 2010), 2385 kg/m^3, ook vermenigvuldigd met 50%
Elektriciteit	Electricity, low voltage,	1	kWh	Voor graveren (Remmerswaal & Heuvel, 2005)

Materiaal/ Proces	*Ecoinvent-record*	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
	production NL, at grid/NL			
Transport, vrachtauto	Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER	173	tkm	Gemiddelde afstand op basis van (LOB, 2014). Geen boottransport.
Grafrust				
Water	Tap water, at user/RER	31,6	kg	Circa 10 m^3 per jaar per begraafplaats à 8637 personen gemiddeld (Yarden, 2014)
Benzine[24]	Petrol, low-sulphur, at regional storage/CH	1,14	kg	Circa 500 liter per begraafplaats per jaar voor bladblazer, grasmachine, bosmaaier, kettingzaag (Yarden, 2014); vermenigvuldigd met aantal jaren, gedeeld door het aantal begraven personen.
Diesel	Diesel, low-sulphur, at regional storage/RER	0,797	kg	300 liter per jaar per begraafplaats (Yarden, 2014); idem bovenstaande.
Graszaad	Grass seed IP, at regional storehouse/CH	0,006	kg	2 kg per jaar per begraafplaats (Yarden, 2014); idem bovenstaande.
Begraven van lichaam	Zie Tabel 6 en Tabel 8	24.5	kg	
Normaal afval	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH	4,17	kg	Begraven van viscose kleding & kunstgebit.
Biologisch afbreekbaar afval	Composting organic waste/RER	41,9	kg	Begraven van kist, kussen, lijkhoes, katoenen kleding, schoenen, kistbekleding en houten handgrepen.
Landgebruik	Occupation, urban, green areas	137	m^2a	10 m^2 per persoon gedeeld door gemiddeld 2 personen per graf, vermenigvuldigd met gemiddelde grafrust (27,3 jaar, zie 4.2).
Verwijdering				
Graven	Excavation, hydraulic digger/RER	3,68	m^3	Open & sluiten graf
Graven	Excavation, hydraulic digger/RER	3,68	m^3	Open & sluiten verzamelgraf, 20 liter volume (Genius Loci, 2010) maar aantal personen is onbekend; daarom zelfde hoeveelheid graafwerk gerekend als voor gewoon graf. Geen extra landgebruik voor verzamelgraf meegerekend omdat de berekening hierboven reeds de complete begraafplaatsoppervlakte per persoon rekent
Transport, vrachtauto	Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER	1,16	tkm	Verwijdering van steen en fundering, transport van 10 km (aanname)
Recycling van steen	Natural stone plate, cut, at regional storage/CH	123	kg	Recyclingsefficiëntie van 90% verondersteld; 90% steen als vermeden product, 10% als overig normaal afval gemodelleerd
Normaal afval	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH	40,1	kg	Fundering + 10% steenverliezen

[24] Groentotaal de Boer suggereerde dat deze benzine “Aspen” is, een specifieke laag-benzeen-, laag-tolueen- en laag-zwavelhoudende benzine, die niet bestaat in Ecoinvent of de andere beschikbare databanken; laagzwavelige benzine kwam het dichtst in de buurt en is dus gebruikt.

Materiaal/ Proces	*Ecoinvent-record*	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
Recycling van metalen	n.v.t.			Zie toelichting aan het eind van par. 4.2

Tabel 12 Inputgegevens voor de berekeningen van cremeren van één persoon. Lijkhoes en kist zijn hetzelfde als voor begraven (zie Tabel 11).

Materiaal/ Proces	*Ecoinvent-record*	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
Voorbereiding				
Recycling roestvast staal	Zie Tabel 9	0,433	Kg	Metalen handgrepen
Recycling zink	Zie Tabel 9	0,467	Kg	Ornamenten
Crematieproces				**Levensduur oven: 25000 crematies** (Facultatieve Technologies, 2010)
Roestvast staal	RVS[21]	0,12	Kg	3000 kg (Facultatieve Technologies, 2010) & (IFZW, 2010)
Elektronische componenten	Electronic component, unspecified, at plant/GLO	0,01	Kg	250 kg (Facultatieve Technologies, 2010) & (IFZW, 2010)
Bakstenen	Refractory, fireclay, packed, at plant/DE	0,4	Kg	10000 kg (Facultatieve Technologies, 2010)
Aardgas	Natural gas, burned in industrial furnace >100kW/RER	1760	MJ	50 m^3 (Yarden, 2014)
Eindbehandeling van machine	Disposal, industrial devices, to WEEE treatment/CH	0,13	Kg	Staal + elektronische componenten
Normaal afval	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH	0,4	Kg	Dump van bakstenen
Elektriciteit	Electricity, low voltage, production NL, at grid/NL	30	kWh	(IFZW, 2010) en (SVT, 2010)
Rookgas-reiniging				**Levensduur installatie = 25000x**
Water	Tap water, at user/RER	0,08	kg	2000 liter (Facultatieve Technologies, 2010)
Ethyleenglycol	Ethylene glycol, at plant/RER	0,022	kg	500 liter glycol (Facultatieve Technologies, 2010), dichtheid 1,11 kg/L.
Roestvast staal	RVS[21]	0,416	kg	10400 kg (Facultatieve Technologies, 2010)
Koper	Copper, primary, at refinery/RER	0,078	kg	1950 kg (Facultatieve Technologies, 2010)
PVC	Polyvinylchloride, at regional storage/RER	0,026	kg	650 kg andere materialen (Facultatieve Technologies, 2010)
Actieve kool	Zie Tabel 13.	0,5	kg	(Facultatieve Technologies, 2010)
Rookgasreiniging emissies	Zie Tabel 10	2500	m^3	Volume van (Appelman & Kok, 2005)
Elektriciteit	Electricity, low voltage, production NL, at grid/NL	25	kWh	(Facultatieve Technologies, 2010) & (IFZW, 2010)
Eindbehandeling	Disposal, industrial	0,52	kg	

Materiaal/ Proces	*Ecoinvent-record*	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
van machine	devices, to WEEE treatment/CH			
Cremulator				**Levensduur cremulator = 25000x**
Roestvast staal	RVS[21]	0,011	kg	300 kg (DFW, 2010); aanname: 275 kg staal en 25 kg electronica;
Elektronische componenten	Electronic component, unspecified, at plant/GLO	0,001	kg	Zie boven
Elektriciteit	Electricity, low voltage, production NL, at grid/NL	1	kWh	(IFZW, 2010) & (SVT, 2010)
Eindbehandeling van machine	Disposal, industrial devices, to WEEE treatment/CH	0,012	kg	300 kg (DFW, 2010)
Scheiding				
Recycling van metalen	Zie Tabel 7 en Tabel 9			
Asbus				
PVC	Polyvinylchloride, at regional storage/RER	0,5	kg	Volgens Urnwinkel.nl (2010) meestal van PVC.
Normaal afval	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH	0,5	kg	
Verstrooien boven land		**75%**		
Benzine	Petrol, low-sulphur, at regional storage/CH	0,778	kg	400 liter per ha per jaar (zelfde als voor begraafplaats)
Graszaad	Grass seed IP, at regional storehouse/CH	0,135	kg	50 kg per ha per jaar (zelfde als voor begraafplaats)
Landgebruik	Occupation, urban, green areas	2,7	m^2a	
Transport, personenauto	Transport, passenger car, petrol, fleet average 2010/RER	120	pers.km	
Bodemcontaminatie door crematieas	Zie Tabel 6 en Tabel 8.	3	kg	
Verstrooien boven zee		**20%**		
Transport, personenauto	Transport, passenger car, petrol, fleet average 2010/RER	18	pers.km	(Aqua Omega, 2010)
Transport, schip	Transport, barge/RER	0,01	tkm	(Aqua Omega, 2010)
Zeecontaminatie door crematieas	Zie Tabel 6.	3	kg	
Bewaren in urn		**5%**		
Keramiek	Sanitary ceramics, at regional storage/CH	0,25	kg	2,5 kg, 10% marktaandeel (Funeral Products, 2010)
Messing	Brass, at plant/CH	2,4	kg	3 kg, 80% marktaandeel (Funeral Products,

Materiaal/ Proces	*Ecoinvent-record*	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
				2010)
Glas	Packaging glass, brown, at regional storage/CH	0,25	kg	2,5 kg, 10% marktaandeel (Funeral Products, 2010)
Normaal afval	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH	2,9	kg	Urn weggegooid na gebruik.
Bodem-contaminatie door crematieas	Zie Tabel 6.	3	kg	
Transport, personenauto	Transport, passenger car, petrol, fleet average 2010/RER	120	pers.km	

Tabel 13 Modellering van actieve kool, welke ontbrak in Ecoinvent. Per kilogram van de geproduceerde actieve kool zijn de volgende gegevens gebruikt:

Materiaal/ Proces	*Ecoinvent-record*	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
Koolstof	Carbon	*1*	*kg*	Wet van behoud van massa (geen betere gegevens beschikbaar)
Elektriciteit	Electricity, low voltage, production NL, at grid/NL	0,00319	MWh	Voor productie van 1108356 kg actieve kool is 3532 MWh nodig (Lima, McAloon, & Boateng, 2008)
Gas	Electricity, natural gas, at power plant/NL	0,0142	GJ	Voor productie van 1108356 kg actieve kool is 15693 GJ nodig (Lima, McAloon, & Boateng, 2008)
Water	Tap water, at user/RER	0,0325	ton	Voor productie van 1108356 kg actieve kool is 36 kton nodig (Lima, McAloon, & Boateng, 2008)

Tabel 14 Inputgegevens voor de berekeningen van resomeren van één persoon. In principe komen alle data van Resomation Ltd., tenzij anders aangegeven.

Materiaal/ Proces	*Ecoinvent-record*	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
Resomatie kleding				
Katoen	Textile, woven cotton, at plant/GLO	0,4	kg	
Resomatie lijkhoes		**100%**		
Maïszetmeel	Maize starch, at plant/DE	0,3	kg	
Aangepast zetmeel	Modified starch, at plant/RER	0,1	kg	
Resomatie kist				
Roestvast staal	RVS[21]	0,20	kg	Frame van 20 kg, 100x gebruikt
Kist + handgrepen: zelfde als voor begraven	n.v.t.	1/50	p	Buitenkist, 1 per 50 overledenen

Materiaal/ Proces	*Ecoinvent-record*	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
Normaal afval	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH	0,751	kg	Kist + houten handgrepen, eens per 50 overledenen weggegooid
Recycling zink	Zie Tabel 9	0,00934	kg	Handgrepen
Recycling roestvast staal	Zie Tabel 9	0,00867	kg	Handgrepen
Resomatie proces				
Kalium hydroxide	Potassium hydroxide, at regional storage/RER	Vertrouwelijk	kg	15 liter voor 1e cyclus en 6 voor 2e
Water	Tap water, at user/RER	Vertrouwelijk	liter	250 liter voor 1e cyclus en 1600 voor koelen en reinigen
H_2SO_4	Sulphuric acid, liquid, at plant/RER	Vertrouwelijk	kg	2 à 3 liter
Elektriciteit	Electricity, low voltage, production NL, at grid/NL	Vertrouwelijk	kWh	Som van individuele processtappen, o.a. pomp, drainage & computer
Aardgas	Natural gas, high pressure, at consumer/NL	Vertrouwelijk	m^3	Zowel voor verwarmen van 1e als 2e cyclus
Behandeling van resomatieafvalwater	Zie paragraaf 4.4	Vertrouwelijk	liter	Water + KOH + Lichaamsvloeistof. Voor beschrijving zie paragraaf 4.4
Normaal afval		0,018	kg	Voor kunstgebit.
Recycling goud	Zie Tabel 7 en Tabel 9	0,283	g	
Recycling zilver	Zie Tabel 7 en Tabel 9	0,124	g	
Recycling palladium	Zie Tabel 7 en Tabel 9	0,017	g	
Recycling platina	Zie Tabel 7 en Tabel 9	0,101	g	
Hergebruik roestvaststaal	Zie Tabel 7 en Tabel 9	0,433	kg	1 kg hergebruik is nu genoteerd als 90% x 1 kg primair proces vermeden. Wederom is ook een inzamelproces toegevoegd, ditmaal voor 100%.
Hergebruik ijzerschroot	Zie Tabel 7 en Tabel 9	1,333	kg	Zelfde als bij roestvast staal.
Hergebruik kobaltchroom	Zie Tabel 7 en Tabel 9	0,533	kg	Zelfde als bij roestvast staal.
Hergebruik titanium	Zie Tabel 7 en Tabel 9	0,800	kg	Zelfde als bij roestvast staal.
Processor & tanks				
Roestvast staal	RVS[21]	0,191	kg	Som van verschillende onderdelen van de resomator + tanks, gedeeld door aantal resomaties: (2400+980+40+150+1200)/25000
Polypropyleen	Polypropylene, granulate, at plant/RER	0,0048	kg	idem
Desktop computer + LCD screen	Desktop computer, without screen, at plant/GLO LCD flat screen, 17 inches, at plant/GLO	0,0002	p	1 per 5 jaars = 5000 resomaties.
Eindbehandeling van machine	Disposal, industrial devices, to WEEE treatment/CH	0,196	kg	
Eindbehandeling computer	Dismantling, desktop computer, mechanically, at	0,0002	p	1 per 5 jaar = 5000 resomaties.

Materiaal/ Proces	*Ecoinvent-record*	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
	plant/GLO Dismantling, LCD screen, mechanically, at plant/GLO			
Verstrooien boven land		**25%**		
Keramiek	Sanitary ceramics, at regional storage/CH	2	kg	Urn
Benzine	Petrol, low-sulphur, at regional storage/CH	0,778	kg	
Graszaad	Grass seed IP, at regional storehouse/CH	0,135	kg	
Landgebruik	Occupation, urban, green areas	2,7	m^2a	
Transport, personenauto	Transport, passenger car, petrol, fleet average 2010/RER	120	pers.km	
Bodemcontaminatie door resomatiepoeder	Zie Tabel 6	3,14	kg	
Normaal afval	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH	2	kg	Dump van urn
Verstrooien boven zee		**25%**		
Keramiek	Sanitary ceramics, at regional storage/CH	2	kg	Urn
Transport, personenauto	Transport, passenger car, petrol, fleet average/RER	18	pers.km	
Transport, schip	Transport, barge/RER	0,01	tkm	
Zeecontaminatie door resomatiepoeder	Zie Tabel 6.	3,14	kg	
Normaal afval	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH	2	kg	Dump van urn
Begraven als compost		**50%**		
Karton	Core board, at plant/RER	0,595	kg	Voor kist
Bodemcontaminatie door resomatiepoeder	Zie Tabel 6	3,14	kg	
Biologisch afbreekbaar afval	Composting organic waste/RER	0,595	kg	Voor kist
Transport, personenauto	Transport, passenger car, petrol, fleet average 2010/RER	120	pers.km	

E Resultaten uitgedrukt in schaduwprijzen

Schaduwprijzen in de verschillende effectcategorieën voor de belangrijkste processtappen van de uitvaarttechnieken. Voor een uitleg van deze categorieën, zie Bijlage B. Zoutwater ecotoxiciteit, uitputting van mineralenvoorraden en uitputting van fossiele voorraden zijn weggelaten omdat de schaduwprijs van dit effect €0 is.

Tabel 15 Schaduwprijzen in de verschillende effectcategorieën voor de belangrijkste processtappen van de uitvaarttechnieken. Voor een uitleg van deze categorieën, zie Bijlage B. Zoutwater ecotoxiciteit, uitputting van mineralenvoorraden en uitputting van fossiele voorraden zijn weggelaten omdat de schaduwprijs van dit effect €0 is.

Processtap	**Klimaatverandering**	**Aantasting ozonlaag**	**Humane toxiciteit**	**Smogvorming**	**Fijnstofvorming**	**Ioniserende straling**	**Verzuring**	**Vermesting (zoetwater)**	**Vermesting (zoutwater)**	**Terrestrische ecotoxiciteit**	**Zoetwater ecotoxiciteit**	**Landgebruik (landbouw)**	**Landgebruik (stedelijk)**	**Landtransformatie (natuur)**	**Uitputting watervoorraden**
Begraven															
Lijkhoes	0,07	0,00	0,01	0,01	0,38	0,01	0,02	0,00	0,07	0,01	0,00	0,11	0,00	0,00	0,59
Kist	1,60	0,00	0,36	0,14	8,33	0,41	0,33	0,02	1,34	0,19	0,02	6,18	0,11	0,00	9,88
Graven	0,05	0,00	0,00	0,02	0,40	0,00	0,01	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lift	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Monument	1,60	0,00	0,11	0,36	9,49	1,71	0,23	0,00	2,54	0,01	0,00	0,03	0,09	0,00	0,78
Grafrust	0,36	0,00	0,01	0,01	0,17	0,01	0,01	0,31	0,08	0,00	0,00	0,00	12,8	0,00	0,05
Verwijdering	-1,31	0,00	-0,51	-0,14	-5,35	-1,47	-0,15	-0,02	-0,96	-0,01	-0,01	-0,06	-0,03	0,00	-0,71
Cremeren															
Lijkhoes	0,07	0,00	0,01	0,01	0,38	0,01	0,02	0,00	0,07	0,01	0,00	0,11	0,00	0,00	0,59
Kist	1,60	0,00	0,36	0,14	8,33	0,41	0,33	0,02	1,34	0,19	0,02	6,18	0,11	0,00	9,88
Voorbereiding	-0,02	0,00	-0,08	0,00	-0,14	0,00	-0,01	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,03
Proces	3,65	0,00	0,37	0,10	2,55	0,19	0,09	0,02	0,57	0,01	0,01	0,04	0,02	0,00	0,14
Rookgasreiniging	1,20	0,00	0,29	0,63	13,6	0,08	0,44	0,01	5,16	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,10
Behandeling van overblijfselen	-1,30	0,00	-2,08	-0,07	-6,39	-0,13	-0,32	0,30	-0,53	0,02	-0,05	-0,05	0,17	0,00	-0,33
Resomeren															
Kleding	0,27	0,00	0,03	0,02	1,42	0,05	0,06	0,00	0,25	0,04	0,00	0,41	0,01	0,00	2,17
Lijkhoes	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
Kist	0,03	0,00	0,01	0,00	0,26	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,01
Proces	-0,11	0,00	-2,27	-0,05	-5,33	0,52	-0,24	-0,12	-0,38	-0,01	-0,06	-0,07	-0,05	0,00	2,26
Behandeling van overblijfselen	0,50	0,00	0,07	0,04	1,55	0,18	0,04	0,22	0,19	0,00	0,00	0,13	0,12	0,00	0,09

Tabel 16 Schaduwprijzen van de onderdelen van de processtappen bij begraven. In de relevante gevallen is het aangegeven voor hoeveel procent die stap was meegeteld in de volledige uitvaartberekening.

Processtap	**Schaduwprijs per overledene (€)**
Lijkhoes (22%)	
Katoen	1,28
Kist	
Spaanplaat kist	3,05
Eikenhouten kist	2,07
Vurenhouten kist	0,83
Kussen	0,03
Lining	21,34
Roestvast staal	0,61
Zink (ornamenten)	0,60
Houten handgrepen	0,36
Graven	
Graven	0,60
Lift (88,5%)	
Roestvast staal	0,01
Recycling roestvast staal	0,00
Monument (66%)	
Natuursteen	8,36
Elektriciteit voor graveren	0,04
Transport, vrachtauto	8,33
Beton	0,21
Grafrust	
Water	0,04
Benzine	0,16
Diesel	0,09
Graszaad	0,01
Vertering van lichaam	0,70
Gewoon afval	0,01
Biologisch afval	0,00
Landgebruik	12,83
Verwijdering	
Recycling & stort materialen (alg. graf)	-2,41
Recycling & stort materialen part. graf)	-2,15
Graven, graf	0,60
Graven, verzamelgraf	0,60
Transport, vrachtauto	0,09
Afval (fundering)	0,05
Recycling steen	-7,51

Tabel 17 Schaduwprijzen van de onderdelen van de processtappen bij cremeren In de relevante gevallen is het aangegeven voor hoeveel procent die stap was meegeteld in de volledige uitvaartberekening.

Processtap	**Schaduwprijs per overledene(€)**
Lijkhoes (22%)	
Katoen	1,28
Kist	
Spaanplaat kist	3,05
Eikenhouten kist	2,07
Vurenhouten kist	0,83
Kussen	0,03
Bekleding	21,34
Roestvast staal	0,61
Zink (ornamenten)	0,60
Houten handgrepen	0,36
Voorbereiding	
Recycling roestvast staal	0,01
Recycling zink	-0,31
Proces	
Roestvast staal	0,17
Elektronische componenten	0,84
Bakstenen	0,05
Eindbehandeling van machine	0,00
Elektriciteit	1,64
Gewoon afval	0,00
Aardgasverbranding	5,05
Rookgasreiniging	
Water	0,00
Ethyleenglycol	0,00
Roestvast staal	0,59
Koper	0,26
PVC	0,00
Actieve kool	0,16
Rookgasreinigingemissies	19,20
Elektriciteit	1,37
Eindbehandeling van machine	0,01
Behandeling van overblijfselen	
Cremulator	0,15
Recycling metalen	-14,30
Asbus	0,09
As vestrooien boven land	2,38
As vestrooien boven zee	0,28
As bewaren in urn	0,63

Tabel 18 Schaduwprijzen van de onderdelen van de processtappen bij resomeren. In de relevante gevallen is het aangegeven voor hoeveel procent die stap was meegeteld in de volledige uitvaartberekening.

Processtap	**Schaduwprijs per overledene (€)**
Kleding	
Katoen	4,74
Lijkhoes	
Maïszetmeel	0,15
Aangepast zetmeel	0,04
Kist	
Spaanplaten kist	0,43
Eikenhouten kist	0,06
Vurenhouten kist	0,04
Roestvast staal, handgrepen	0,02
Zink	0,01
Roestvast staal frame	0,01
Afvalbehandeling van kist	0,28
Recycling zink	0,00
Recycling roestvast staal, handgrepen	-0,01
Recycling roestvast staal, frame	0,00
Houten handgrepen	0,00
Proces	
Roestvast staal	0,27
Polypropyleen	0,00
Eindbehandeling van machine	0,00
Resomatieproces	11,82
Recycling goud	-3,37
Recycling zilver	-0,01
Recycling palladium	-4,34
Recycling platina	-0,47
Hergebruik staal	-0,46
Hergebruik kobaltchroom	-1,77
Hergebruik titanium	-7,09
Hergebruik roestvast staal	-0,56
Afval, kunstgebit	0,00
Desktop computer (afval)	0,00
LCD-scherm (afval)	0,00
LCD-scherm (productie)	0,05
Desktop computer (productie)	0,02
Behandeling van overblijfselen	
Processor	0,10
As vestrooien boven land	1,12
As vestrooien boven zee	0,43
As begraven als compost	1,49