Urban Development
Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56
F +31 88 866 44 75
infodesk@tno.nl

TNO-rapport

TNO-060-UT-2011-01366-vs2

Milieueffecten van verschillende uitvaarttechnieken

Datum	8 augustus 2011
Auteur(s)	E.E. Keijzer, MSc H.J.G. Kok, MSc
Aantal pagina's	86 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	5
Opdrachtgever	Yarden Holding BV Almere
Projectnaam	
Projectnummer	034.24026

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, 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 belang-hebbenden is toegestaan.

© 2011 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 twee nieuwe uitvaarttechnieken te introduceren en aan te bieden: cryomeren en resomeren.

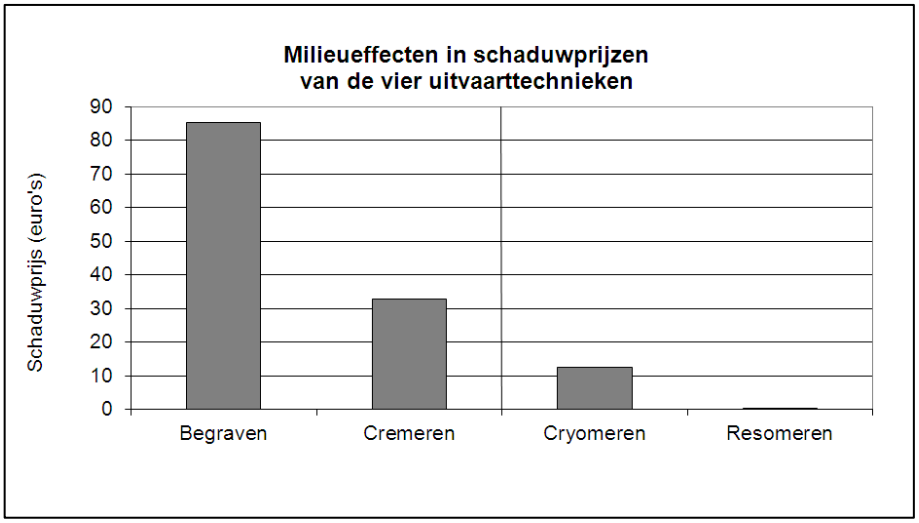
Vooralsnog voorziet de Nederlandse wet op de lijkbezorging in drie bestemmingen: Begraven, cremeren of ter beschikking stellen aan de wetenschap. Om een plaats te kunnen geven aan de twee nieuwe ontwikkelingen is een wetswijziging noodzakelijk. Voordat het tot een voorstel tot wijziging van de wet komt, zal het Ministerie van Binnenlandse Zaken willen beschikken over meer informatie met betrekking tot de nieuwe technieken.
Als aanzet voor de onderbouwing heeft Yarden TNO gevraagd de milieueffecten (eco-footprint) van 4 uitvaarttechnieken (begraven, cremeren, cryomeren en resomeren) door middel van een Life Cycle Assessment (LCA) in kaart te brengen. Deze studie is conform de ISO-norm voor LCA's (ISO, 2006) uitgevoerd en gereviewd.

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 twee nieuwe technieken zijn de procesgegevens beschikbaar gesteld door Cryomation Ltd. en door Resomation Ltd. De nieuwe technieken zijn beschouwd alsof ze reeds volledig operationeel zijn en geïntegreerd in het Nederlandse uitvaartwezen.
Voor het opstellen van de eco-footprint 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 CML-LCA2 methodiek. Volgens deze methodiek worden 11 milieueffectcategorieën beschouwd en de impact ervan berekend in equivalenten voor een voor die categorie belangrijke stof.
De milieuimpact is per uitvaarttechniek bepaald met behulp van de SimaPro Life Cycle Assessment software (versie 7.2) en met de database Ecoinvent (versie 2.1), 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 uitvaarttypen in principe slechts per effectcategorie vergeleken kunnen worden.
Uit de resultaten voor de vier verschillende uitvaarttechnieken blijkt dat:

- cryomeren en resomeren voor vrijwel alle milieueffectcategorieën de kleinste impact hebben (alleen voor vermesting heeft resomeren de grootste impact, die veroorzaakt wordt door het hoge nutriëntgehalte van het afvalwater);
- begraven heeft voor alle milieueffectcategorieën (behalve voor vermesting) de grootste impact,
- cremeren neemt voor alle milieueffectcategorieën een tussenpositie in.

Deze resultaten scheppen de verwachting dat de totale milieu-impact van de verschillende uitvaarttechnieken het grootst is voor begraven, het kleinst voor resomeren of cryomeren, en ergens daar tussenin voor cremeren.

Om een meer kwantitatieve uitspraak over de totale milieu-impact van de vier uitvaarttechnieken te kunnen doen is gebruik gemaakt van de schaduwprijzen methode. 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 vervuilende 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 de ISO-norm (ISO, 2006) valt, omdat de resultaten gewogen worden.
Het resultaat van de berekeningen op basis de schaduwprijzen is weergegeven in onderstaande figuur voor de vier uitvaarttechnieken.



Figuur S1 - Schaduwprijzen voor de bestaande uitvaarttechnieken begraven en cremeren en de nieuwe uitvaarttechnieken cryomeren en resomeren

Het totale milieueffect van de vier uitvaarttechnieken ligt tussen de 0 euro voor het resomeren en 85 euro voor het begraven van een gemiddeld overleden persoon. De andere twee uitvaarttechnieken liggen daar tussenin: ongeveer 30 euro voor cremeren en 10 euro voor cryomeren.
Bij begraven is ruimtebeslag de zwaarst meetellende milieueffectcategorie (52 euro), gevolgd door humane toxiciteit (10 euro) en broeikaseffect (9 euro). Ruimtebeslag is bij cremeren ook de grootste effectcategorie (14 euro), gevolgd door vermesting (7 euro) en humane toxiciteit (5 euro). Bij cryomeren spelen ruimtebeslag (10 euro), vermesting (4 euro) en broeikaseffect (2 euro) een grote rol. Er zijn ook effectcategorieën met negatieve waarden, hetgeen een milieuvoordeel betekent (bijvoorbeeld humane toxiciteit: -2 euro). Resomeren wordt gedomineerd door vermesting (10 euro) en de sterke negatieve waarden voor humane toxiciteit (-7 euro) en broeikaseffect (-1,5 euro).

Afgezien van bij het begraven, worden de milieueffecten van de andere uitvaarttechnieken grotendeels bepaald door de compenserende effecten van de metaalrecycling, met name bij cryomeren en resomeren. Deze uitvaarttechnieken bieden betere mogelijkheden om waardevolle metalen resten te recyclen, die anders terecht zouden komen in de bodem, het water en/of de lucht tezamen met de overblijfselen. Bij cryomeren en resomeren kunnen er ook kleine hoeveelheden edelmetalen gescheiden worden van de overblijfselen. De recycling van deze edelmetalen leidt tot een compensatie van milieueffecten.

Om gevoel te krijgen voor de onzekerheid van de verkregen resultaten zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor de bestemming van de overblijfselen, de samenstelling van het afvalwater bij resomeren, het gebruik van de hulpbronnen bij cryomeren en resomeren, de materiaalkeuze voor het grafmonument bij cryomeren, de uitgangspunten voor metaalrecycling en de samenstelling van de omhulling. De variatie van deze inputdata geeft geen belangrijke verschuivingen in het totaalbeeld. Wel wordt duidelijk dat de omhulling bepalend is voor het verschil in milieubelasting tussen cremeren en de nieuwe technieken. Verder is de schaduwprijs voor resomeren, die na optelling van positieve en negatieve milieuaspecten in het basisscenario rond nul uitkomt, erg gevoelig voor de gebruikte gegevens met betrekking tot recycling en hoeveelheden hulpbronnen.

De hoofdconclusie over de milieu-impact van de vier uitvaarttechnieken is dat de totale milieu-impact bij begraven het grootst is gevolgd door cremeren. De milieu-impact bij cryomeren en resomeren is veel kleiner dan bij begraven en cremeren, terwijl die voor resomeren (waarschijnlijk) het kleinst is.

Bij deze resultaten wordt opgemerkt, dat er onafhankelijk van de toegepaste uitvaarttechniek voorbereidingen moeten plaatsvinden (voorfase), die ook bijdragen aan de milieubelasting. Dit betreft bijvoorbeeld het afleggen van het lichaam (inclusief gekoeld opbaren), het versturen van rouwberichten en de afscheidsceremonie zelf (o.a. aulagebruik, eigen vervoer genodigden en koffietafel). Deze voorfase maakt geen onderdeel van de studie uit, maar uit een oriënterende berekening is gebleken, dat de milieubelasting van de voorfase, uitgedrukt als schaduwprijs, veel groter is dan van de vier uitvaarttechnieken zelf (ca. 220 Euro per voorfase per lichaam).

Uit deze studie wordt geconcludeerd dat verdere ontwikkeling en toepassing van de nieuwe uitvaarttechnieken (cryomeren en resomeren) gunstig is om een reductie van de milieu-impact van de lijkbezorging in Nederland te bereiken. De milieu-impact van het energiegebruik bij deze technieken wordt grotendeels gecompenseerd door de voordelen van recycling van de metalen uit de restanten bij gebruik van deze nieuwe technieken. Voor de huidige technieken is uitgegaan van de gemiddelde Nederlandse situatie. Hoeveel beter de ‘best practice’ is en hoeveel ruimte er is om de huidige technieken minder milieubelastend te maken, zou nog apart onderzocht kunnen worden.
De ethische aspecten van het toepassen van de verschillende uitvaarttechnieken zijn niet bij deze studie betrokken.

Inhoudsopgave

Samenvatting **3**

1 Inleiding **9**

2 Doel & reikwijdte **11**
2.1 Doel 11
2.2 Reikwijdte 11

3 Methode **17**
3.1 Life Cycle Assessment als basis om milieueffecten te vergelijken 17
3.2 Totaal milieueffect op basis van schaduwprijzen 18

4 Systeembeschrijving **21**
4.1 Algemene systeemkenmerken 21
4.2 Begraven 24
4.3 Cremeren 26
4.4 Cryomeren 28
4.5 Resomeren 30

5 Resultaten **33**
5.1 Milieueffect van de vier uitvaarttechnieken 33
5.2 Gevoeligheidsanalyses 41
5.3 Overige gevoeligheden 50

6 Conclusies **53**

7 Referenties **55**

8 Ondertekening **57**

Bijlage(n)
A Review LCA studie “Milieueffecten van verschillende uitvaarttechnieken
B Milieueffectcategorieën
C De schaduwprijzen methode als maat voor de totale milieu impact bij de CML-LCA methodiek
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 twee nieuwe uitvaarttechnieken te introduceren: Cryomeren en Resomeren.

De Nederlandse Wet op de Lijkbezorging staat drie wijzen van lijkbezorging toe: begraven, cremeren of ter beschikking stellen aan de wetenschap. Om de nieuwe technieken 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 technieken. Als eerste stap heeft Yarden aan TNO gevraagd om de milieu-impact (eco-footprint) van de vier uitvaarttechnieken (begraven, cremeren, cryomeren en resomeren) te inventariseren en te analyseren. Sociale en economische aspecten zijn in deze studie niet meegenomen.

In dit rapport worden de resultaten van het onderzoek naar de milieueffecten van de vier 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 eco-footprint toegelicht. Deze methode is gebaseerd op het bepalen van de milieu-impact over de gehele levenscyclus van de uitvoering van een uitvaarttechniek door middel van een Life Cycle Assessment (LCA) volgens de CML-LCA2 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 bediscussieerd. Om het totale milieueffect van de verschillende uitvaarttechnieken te vergelijken wordt de schaduwprijzenmethode gebruikt.
In hoofdstuk 6 worden de conclusies over de vergelijking van de milieueffecten van de vier verschillende uitvaarttechnieken vermeld.

2 Doel & reikwijdte

2.1 Doel

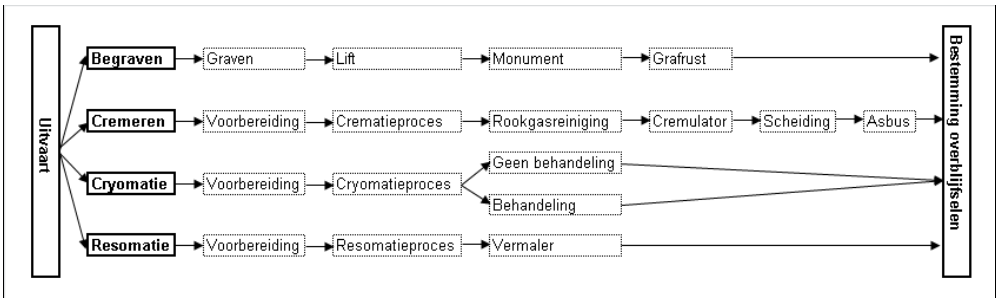
Het doel van deze studie is om vier verschillende uitvaarttechnieken te vergelijken wat betreft hun milieueffecten in alle fases van de uitvoering van deze techniek. De opdrachtgever wil de resultaten van deze vergelijking gebruiken om de mogelijkheden te onderzoeken om twee nieuwe uitvaarttechnieken te introduceren in Nederland.
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 publiciteit 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.
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].
Deze review is uitgevoerd door:
- Harry van Ewijk (IVAM);
- Bart Krutwagen (CE Delft).

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.

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 (laatste deel). Dit onderzoek richt zich op de milieueffecten van het laatste deel.
In het voorbereidende deel ondernemen de nabestaanden van de overledene allerlei acties. De voornaamste stappen zijn het opbaren, het voorbereiden van de afscheidsceremonie en de uitvoering van de ceremonie zelf. Milieueffecten ten gevolge van deze stappen komen bijvoorbeeld van de papierproductie voor rouwkaarten en de emissies ten gevolge van het vervoer van de nabestaanden en gasten naar de ceremonie.
Deze voorbereidende activiteiten zijn niet meegenomen in deze studie.
Daarentegen zijn de kist en het transport van de overblijfselen (bijv. na crematie,

naar de laatste rustplek) wel meegenomen in deze studie, omdat deze materialen en processen nodig zijn voor de uitvoering van het laatste deel, en voor de vier technieken verschillend kunnen zijn.
De uitvaarttechnieken die vergeleken worden zijn: begraven, cremeren, cryomeren en resomeren. Figuur 1 toont een schets van de voornaamste processtappen in de levenscyclus van deze technieken. 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 vier 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.
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. 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, etcetera.
Bij metalen is het qua systeemgrens van belang om 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, cryomeren en resomeren zijn als systeem goed vergelijkbaar, omdat het in alle drie de gevallen in essentie gaat om stromen die een machine in gaan, waarin bepaalde processen plaatsvinden en vervolgens uitgaande stromen. Er is een aantal factoren die in alle drie de processen een

belangrijke rol spelen, zoals energiegebruik en bodemvervuiling door asverstrooiing. Begraven is echter een heel ander proces: er zijn meer voorafgaande stappen (zoals blijkt uit Figuur 1 en Hoofdstuk 4) en er zijn andere belangrijke factoren, zoals het grafmonument. 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, (Goedkoop et al, 2008), wat wil zeggen dat niet alleen materialen (1^{e} orde) en processen (2^{e} orde) worden meegenomen in de milieueffectberekening, maar ook kapitaalgoederen. De gebruikte achtergronddatabase Ecoinvent sluit hierop aan. In praktijk betekent dit dat alle benodigde materialen en processen die enige rol speelden, zijn betrokken bij dit onderzoek; dus ook het materiaal dat nodig is voor de cryomator 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 ervan 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:
*[1 – secundaire fractie] * (milieubelasting recyclingproces – milieubelasting primair productieproces)*

Bovenop deze 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 & interpretatie
De gebruikte impact assessment methode, CML-LCA2 [Guinée et al., 2001], staat kort beschreven in het volgende hoofdstuk. In Bijlage B worden de effectcategorieën kort toegelicht. De resultaten worden geïnterpreteerd aan de hand van de schaduwprijzenmethode [van Harmelen et al., 2007], welke eveneens wordt toegelicht in het volgende hoofdstuk en in Bijlage C.

Data-eisen
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 is gebruik gemaakt van de Ecoinvent-database.

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 2010. Het is echter mogelijk, omdat data en onderzoek op dit gebied schaars is, dat 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 het boek van Forbes uit 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 vier 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 (2010). De twee nieuwe technieken worden beschouwd alsof ze reeds volledig operationeel zijn en geïntegreerd in het Nederlandse uitvaartwezen. Op deze manier worden alle vier de technieken zoveel mogelijk naar één niveau getrokken. Hierbij wordt voor de helderheid de mogelijke verdere ontwikkeling van elk van de vier technieken buiten beschouwing gelaten. Complicerend daarbij is dat de voorgronddata voor de nieuwe technieken nog niet met zekerheid vast te stellen zijn: er is weinig bekend uit de praktijk, de data uit de praktijk kan gekleurd zijn (want door het bedrijf aangeleverd) en de praktijk is nog niet geoptimaliseerd, omdat het nog in ontwikkeling is. 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. Binnen de technieken begraven en cremeren zal een bandbreedte aanwezig zijn in de werkelijke milieubelasting. In deze studie is de bandbreedte niet onderzocht. Het is mogelijk dat de rangorde in milieubelasting van de vier 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 werd, 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, 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 vier 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 is 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.

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:

- 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 het graf (inclusief groenvoorziening), 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.

De 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 vier uitvaarttechnieken. Deze vragenlijsten zijn ingevuld door Yarden en partnerbedrijven voor zover het begraven en cremeren betrof. Voor cryomeren is Cryomation Ltd. benaderd. 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 de genoemde bedrijven.

Op basis van specifieke data heeft TNO de milieuprofielen berekend voor vier verschillende uitvaarttechnieken, door middel van de CML-LCA2 methodologie [Guinée, 2001].
Deze methode onderscheidt de volgende milieueffectcategorieën [en bijbehorende effecteenheid]:

- Uitputting abiotische grondstoffen (ADP) [kg Sb eq]
- Klimaatverandering (GWP) [kg CO_2 eq]
- Aantasting ozonlaag (ODP) [kg CFC11 eq]
- Humane toxiciteit (HTP) [kg 1,4-DCB eq]
- Zoetwater aquatische ecotoxiciteit (FAETP) [kg 1,4-DCB eq]
- Zoutwater aquatische ecotoxiciteit (MAETP) [kg 1,4-DCB eq]
- Terrestrische ecotoxiciteit (TETP) [kg 1,4-DCB eq]
- Smogvorming (POCP) [kg C_2H_2 eq]
- Verzuring (AP) [kg SO_2 eq]
- Vermesting (EP) [kg PO_4^{3-} eq]
- Landgebruik (LC) [m^2.jaar]

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.

Voor elke uitvaarttechniek is de milieu-impact bepaald door middel van het rekenprogramma SimaPro versie 7.2 [Pré Consultants, 2010] en de database Ecoinvent versie 2.1 [Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2009]. Hiermee zijn de milieueffecten berekend voor elf milieueffectcategorieën in de bijbehorende eenheden per categorie (meestal in kilogrammen van een prominente vervuilende stof in die milieueffectcategorie). Dit betekent dat het resultaat voor iedere effectcategorie een andere eenheid heeft. Op basis van de resultaten uit SimaPro kunnen de effecten van verschillende uitvaarttechnieken alleen vergeleken worden op het niveau van de effectcategorieën. Op deze manier kan geen duidelijk beeld worden geschetst van het 'totale' milieueffect van de verschillende uitvaarttechnieken.

Om een dergelijke vergelijking van de 'totale' milieueffecten van de uitvaarttechnieken toch mogelijk te maken, is de schaduwprijzenmethode toegepast. Hierbij wordt een wegingsstap toegepast, welke niet valt binnen ISO 14040-14044. De resultaten met betrekking tot de schaduwprijzen zijn dus niet conform deze ISO-normen.

3.2 Totaal milieueffect 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 1.

Tabel 1 – Schaduwprijzen voor verschillende effectcategorieën

Milieueffectcategorie	**Equivalent-eenheid**	**Schaduw-prijs [€/eq. unit]**	**Bron**
Uitputting abiotische grondstoffen (ADP)	kg Sb eq	0	TNO*
Verzuring (AP)	kg SO_2 eq	4	CE
Vermesting (EP)	kg PO_4^{3-} eq	9	CE
Zoetwater aquatische ecotoxiciteit (FAETP)	kg 1,4-DCB eq	0,03	TNO
Klimaatverandering (GWP)	kg CO_2 eq	0,05	CE
Humane toxiciteit (HTP)	kg 1,4-DCB eq	0,09	TNO
Zoutwater aquatische ecotoxiciteit (MAETP)	kg 1,4-DCB eq	0	TNO**
Aantasting ozonlaag (ODP)	kg CFC11 eq	30	CE
Smogvorming (POCP)	kg C_2H_2 eq	2	CE
Terrestrische ecotoxiciteit (TETP)	kg 1,4-DCB eq	0,06	TNO
Landgebruik (LC)	m^2.jaar	0,201	NIBE

* In Nederland is geen beleid om uitputting van abiotische grondstoffen (fossiele brandstoffen, metalen, mineralen) te verhinderen, maar wordt verlaten op het marktmechanisme waar schaarste de prijs doet stijgen. Op basis hiervan wordt aangenomen dat de marktprijs de aantasting van voorraden dekt en de marginale kosten voor abiotische grondstofuitputting 0 €/kg Sb-eq. bedragen.

** 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.

4 Systeembeschrijving

In dit hoofdstuk worden de processen die plaatsvinden in de uitvoering van de vier 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 omtrent 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

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 (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 et al., 2004) en PCB's (Axelrad et al., 2009) & PCDD's/PCDF's (achtergrondgegevens over dioxines door 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[2] (mg].

De samenstelling van crematieas vertoont enkele verschillen met de lichaamssamenstelling. Desalniettemin is er gekozen om het analyserapport van 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 et al., 2009).
De exacte samenstelling van de geresomeerde overblijfselen was niet bekend. De geresomeerde overblijfselen bestaan voornamelijk uit calciumfosfaat (Ecogeek, 2010), of meer specifiek hydroxyapatiet ($Ca_5(PO_4)_3OH$). Daarnaast bevat het ongeveer 5% carbonaat en magnesium, fluoride, barium, strontium, zwavel, koper, zink, mangaan en silicium (zie onder andere: Mbuyi-Muamba *et al.*, 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 is aan deze elementen. Dit is niet de ideale oplossing, maar een betere aanname was niet te maken.

[2] 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 uiteindelijk gehanteerde getallen zijn terug te vinden in Tabel 4 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, 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 *et al.*, 2009).. 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 5 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, cremeren en cryomeren is het facultatief om het lichaam te omhullen door een lijkhoes; dit gebeurt in circa 22% van de gevallen (Hesselmans International, 2010). Bij resomeren is het gebruik van een lijkhoes vereist.
Een kist is verplicht in alle gevallen, en daarom is overal dezelfde standaardkist gebruikt voor de berekeningen. Voor de kistmaterialen is informatie van Unigra gebruikt, die de drie meest voorkomende types gaf:

- 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.
Voor de bekleding van de kist is uitgegaan van gegevens van Unigra, aangevuld met een eigen aanname over het hoofdkussen. Uit 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 (Orthometals) gaf ook de hoeveelheid ingezameld zink, die volgens hem afkomstig was van de ornamenten. 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 (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 moesten worden 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 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.
- Emissiefactoren zijn op dezelfde waarden gehouden als die in het stortplaatsmodel, omdat er geen informatie beschikbaar is over het onderwerp van begraafplaatsemissies. Daarbij moet gezegd dat deze emissies 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 onschuldig, en daarom zijn zij niet aanwezig zijn in deze analyse, ook al komen ze wel in het menselijk lichaam voor.
- *k-waarden*, die bepalen welke fractie van de specifieke elementen beschikbaar komen, ontbraken. De factoren, beschreven in 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 plastic afval dat beschikbaar was bij TNO.

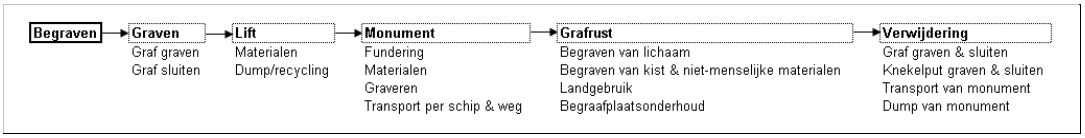
Dit alles resulteerde in de set *k*-waarden, die zijn terug te vinden in Tabel 6 in Bijlage D.

4.1.5 *Recycling van metalen*

Recycling van metalen komt ook terug bij meerdere uitvaarttechnieken. De specifieke berekening hiervoor is reeds uitgelegd in bij de beschrijving van de Allocatieprocedures in paragraaf 2.2. De gehanteerde getallen zijn weergegeven in Tabel 7 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 2 en worden vervolgens toegelicht. De specifieke getallen die zijn gehanteerd voor de LCA-berekeningen, zijn weergegeven in Tabel 9.



Figuur 2 - 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 gaf als richtlijn dat een enkeldiep graf ongeveer 1 meter diep is, en een dubbeldiep graf 2 meter. Per persoon moet dus ongeveer 1 meter gegraven worden. De oppervlakte van een graf is ongeveer 1.25 bij 2.5 meter (Genius Loci, 2010).
De kist kan men laten zakken door middel van een lift of met de hand; in 95% van de gevallen wordt tegenwoordig een lift gebruikt (Honor Piëteitstechniek, 2010). 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 die wordt in deze studie niet in beschouwing genomen.
Na ongeveer vier maanden kan het definitieve grafmonument worden geplaatst; in 75% van de gevallen gebeurt dit ook (LOB, 2010). 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 (85%, LOB 2010). Volgens de LOB bedekt een steen meestal zo'n 70% van het graf, en 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 er geen grafsteenproductie is in Nederland.
Wat de gemiddelde afstand is die een steen moet afleggen is niet bekend, daarom is als gemiddelde verondersteld dat de steen van een ander werelddeel moet komen (zeg, 5000 km per schip) en dan nog in Nederland een kleine afstand moet

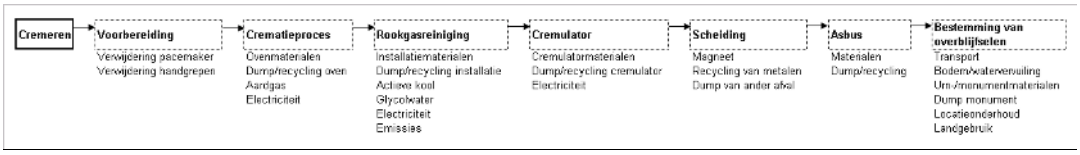
afleggen (zeg, 200 km per vrachtauto). Deze steen ondergaat vaak ook nog een bepaalde behandeling zoals polijsten en graveren.
Tijdens de daaropvolgende periode van grafrust kunnen het lichaam en de kist ongestoord ontbinden. De wet schrijft een vaste periode van grafrust voor van tien jaar voor alle 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; we nemen aan 15 jaar. Circa 90% van de graven zijn eigen 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 voor ongeveer 40 jaar meegaan, hetgeen bevestigd werd door de LOB. Met medeneming van de percentages geeft dat een gemiddelde grafrust van 37.5 jaar.
Het begraven van menselijke overblijfselen kan beschouwd worden als een speciale vorm van storten, met ontbindingsprocessen die worden bepaald door de natuurlijke eigenschappen van het land, de onderhoudsmethoden van de begraafplaats, specifieke aspecten van de begrafenis en de eigenschappen van de overblijfselen. 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 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[3].
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 gemiddelde 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). Hier zit dus zowel landgebruik voor het graf in, als voor de knekelput, groenvoorziening en paden.
Voor het groen is grofweg aangenomen dat 25% van de oppervlakte groen is, en voor de eenvoud is aangenomen dat dit gras is. Op de vraag hoeveel benzine er nodig was om de begraafplaats te onderhouden, kwamen zeer verschillende reacties, van 66 (LOB) tot 500 liter per begraafplaats per jaar (Groentotaal de Boer); als gemiddelde is 300 liter aangehouden.
Op een bepaald moment na de grafrustperiode wordt het graf geruimd. Dit wordt meestal gedaan door een shovel en voor meerdere graven tegelijkertijd. De beenderen worden herbegraven in een verzamelgraf. De metalen en plastics die hier nog tussen zitten, worden niet gescheiden maar mee begraven. Het grafmonument wordt afgevoerd als gewoon afval.

---

[3] Illustratief voor het informatietekort is het feit dat in veel publicaties van na 2000 nog steeds vaak een bron uit 1951 aangehaald wordt (Van Haaren, 1951). Dent (2002) heeft een buitengewoon uitgebreid proefschrift geschreven over het onderwerp, maar is hier een uitzondering in. Zie: Van Haaren (1951). Kerkhoven als bron van waterverontreiniging. *Water, 35 (16)*, pp167-172; en Dent (2002). *The hydrogeological context of cemetery operations and planning in Australia*. PhD Thesis. Sydney: University of Technology.

4.3 Cremeren

Cremeren is de verbranding van het lichaam in een crematorium. De verschillende stappen voor een gemiddelde crematie zijn weergegeven in Figuur 3 en worden vervolgens toegelicht. De specifieke getallen die zijn gehanteerd voor de LCA-berekeningen, zijn weergegeven in Tabel 10.

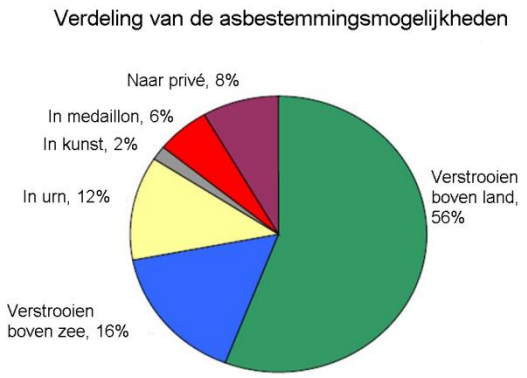


Figuur 3 - Schematisch overzicht van een crematieproces

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, richt deze studie zich op het functioneren en de effecten van de warme startoven. 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. Er werden voor het gemiddelde gasverbruik per crematie verschillende waarden opgegeven, 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.
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 *et al.* (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 in stortplaatsen. Zo is (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 (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 menselijke as en andere resten over. Aangenomen is dat de scheiding van deze resten geen energie of materialen kost, omdat het grotendeels met de hand of met een magneet gebeurt. De menselijke delen van de andere resten worden vermaald in een cremulator en toegevoegd aan de overige menselijke as. De andere delen die overblijven zijn metalen en plastics van protheses en tandvullingen. De metalen worden verzameld en gerecycled door twee gespecialiseerde bedrijven.
De menselijke as gaat in een asbus en wordt voor de wettelijke termijn van 1 maand in een crematorium bewaard. De asbestemmingsmogelijkheden daarna zijn talrijk. De meest voorkomende opties zijn weergegeven in Figuur 4. De drie belangrijkste zijn meegenomen in de berekeningen. De aangenomen ratio is 75% verstrooien boven land, 20% boven zee en 5% bewaring in een urn.



Figuur 4 – 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 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 mensen 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. We hebben verondersteld dat de as niet eindeloos bewaard wordt, maar na een bepaald aantal jaren (maakt niet uit hoeveel) ergens zijn laatste bestemming vindt; hetzij door alsnog te verstrooien, hetzij doordat het simpelweg weggegooid wordt bij het huisvuil. Op al deze manieren komt de as uiteindelijk weer in de bodem terecht[4]; hiervoor zijn dezelfde milieueffecten gerekend als bij verstrooien boven land.
Zowel voor verstrooien boven land als voor bewaren in een urn dient de asbus eerst opgehaald te worden in het crematorium en daarna naar huis of een andere laatste rustplaats gebracht te worden. Dit is een extra transportonderdeel, dat niet nodig is bij begraven, en daarom wel meegerekend dient te worden. Er is verondersteld dat twee personen de as ophalen en wegbrengen en daar gemiddeld 12 kilometer voor moeten rijden[5].
Voor de berekeningen van verstrooiingen boven zee zijn gegevens van Aqua Omega gebruikt. Zij halen allereerst de as op bij de crematoria. Zij rijden jaarlijks circa 45,000 kilometer om de as van 2500 overledenen op te halen, dus hiermee konden de autokilometers per overledene worden 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, wat dus 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.

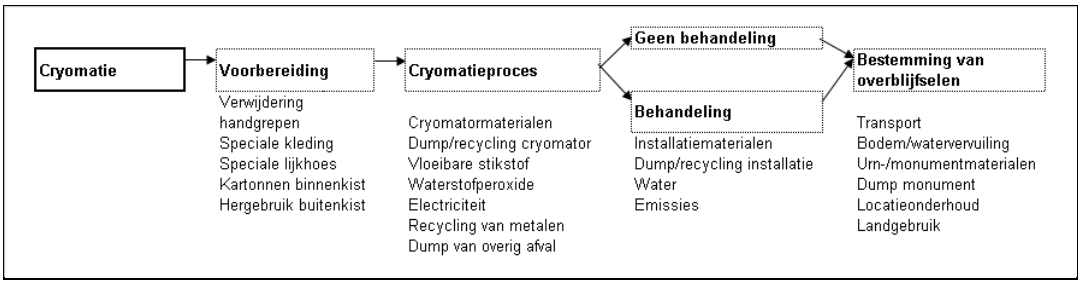
4.4 Cryomeren

Cryomeren is een proces waarbij een lichaam wordt gevriesdroogd en vervolgens gefragmenteerd. Alle cryomatiestappen zijn door Cryomation Ltd. reeds getest op varkens, maar verder wordt het proces nog niet uitgevoerd op menselijke overblijfselen. Er bestaat ook nog geen volledige cryomeerinstallatie (cryomator). Voor deze studie hebben we de opgave van Cryomation Ltd gevolgd, dat de cryomator bestaat uit roestvaststaal, plastic en elektronische onderdelen. We hebben aangenomen dat deze ongeveer even lang mee gaat als een crematieoven. Daarnaast zou een cryomator ongeveer evenveel ruimte innemen als een crematieoven, waardoor hij gewoon in een crematorium kan staan, en geen nieuw gebouw nodig is. We zijn er bij de berekeningen vanuit gegaan dat de techniek op een vergelijkbaar niveau staat als cremeren nu, dat het proces soepel loopt volgens de getallen die Cryomation Ltd ons verschaft heeft, en dat er ongeveer evenveel cryomatiecentra zijn als er nu crematoria zijn.

---

[4] Dit gaat niet op voor het geval dat de as na een bepaald aantal jaren alsnog boven zee verstrooid wordt, maar deze mogelijkheid is hier genegeerd, omdat het slechts een kleine fractie zou zijn, gezien het totaal aantal verstrooiingen boven zee.
[5] Dit getal is berekend door Nederland te beschouwen alsof het opgedeeld is in vierkantjes met in het midden van elk vierkantje een crematorium die het vierkante gebied bedient. De oppervlakte van Nederland is 41528 km^2; met 67 crematoria is de afstand van het midden van het vierkantje tot de rand 12 km (0.5 * wortel (41528/67)). Dus elke plaats in Nederland bevindt zich dan in theorie binnen circa 12 kilometer van een crematorium; sommige dichterbij, sommige iets verder weg. De spreiding door Nederland zal uiteraard variëren (maar bevolkingsspreiding ook); echter om een indicatie te geven van de afstand van huis tot crematorium, voldoet dit prima.

De processtappen van cryomeren zijn weergegeven in Figuur 5 en worden vervolgens toegelicht. De specifieke getallen die zijn gehanteerd voor de LCA-berekeningen, zijn weergegeven in Tabel 11.



Figuur 5 - Schematisch overzicht van het cryomatieproces. Bron: persoonlijke communicatie met Cryomation Ltd. in 2010/2011

Voorafgaand aan de cryomatie dient het lichaam voorzien te zijn van speciale kleding die gemaakt is van maïszetmeel en leer. Een lijkhoes is facultatief; dezelfde fractie is aangenomen als bij begraven en cremeren. Ook de lijkhoes is gemaakt van maiszetmeel.
Er zijn twee kisten nodig. De buitenkist is hetzelfde als de standaardkist en kan hergebruikt worden, de binnenkist gaat de cryomator in. We nemen aan dat de buitenkist 50 maal gebruikt wordt en dan weggegooid.
De eerste stap bij een cryomatie is het geautomatiseerd wegen van de kist om de benodigde hoeveelheden vloeibare stikstof te bepalen. Nadat de vloeibare stikstof is toegevoegd in de cryomator, worden het lichaam en de kist met rust gelaten totdat de kern de vereiste lage temperatuur bereikt. Vanaf nu verloopt het proces volledig automatisch totdat de gedroogde overblijfselen in een kist zitten.
Het cryogene invriezen maakt het lichaam broos. Het bevroren lichaam wordt onderworpen aan een gecontroleerde druk, die het lichaam doet uiteenvallen in kleinere delen. De overblijfselen gaan vervolgens door een detectieveld waarmee anorganisch materiaal wordt verwijderd. Het verwijderde materiaal wordt schoongemaakt en verzameld voor recycling (metalen) of storten (kunstgebitten).
De overgebleven organische resten ondergaan dan een tweede verkleiningsbehandeling, in een trillend maalsysteem. Dit reduceert de fractie tot de vereiste grootte om het te vriesdrogen. De verkleinde overblijfselen worden dan behandeld in een vacuümkamer, waarna het bevroren water sublimeert.
Aan het einde van het proces ondergaat het gedroogde materiaal een behandeling met gasvormig waterstofperoxide om de hoeveelheid ziektekiemen te reduceren met een factor 100,000.
Wat overblijft is een beige, steriele, kleurloze mix van stukjes, die kleiner zijn dan 5mm. De mix weegt ongeveer een derde van het oorspronkelijke gewicht van het lichaam en de kist samen.
Cryomation Ltd. veronderstelt dat de mensen die voor cryomeren kiezen, dat doen omdat ze milieu belangrijk vinden, en daarom ook milieubewuste keuzes zullen maken als het gaat om de kist na de cryomatie; Cryomation Ltd. suggereert hiervoor een biologisch afbreekbare doos. We hebben aangenomen dat het om een kartonnen doos gaat, aangezien dit een veelgenoemde optie is.
De gecryomeerde overblijfselen kunnen op de gebruikelijke wijze begraven worden in de doos. Een alternatief is dat de overblijfselen verder bewerkt worden door middel van aerobe compostering. Dit reduceert de massa nogmaals met 30%. Hiervoor is alleen een installatie nodig van roestvaststaal, water en microben. De

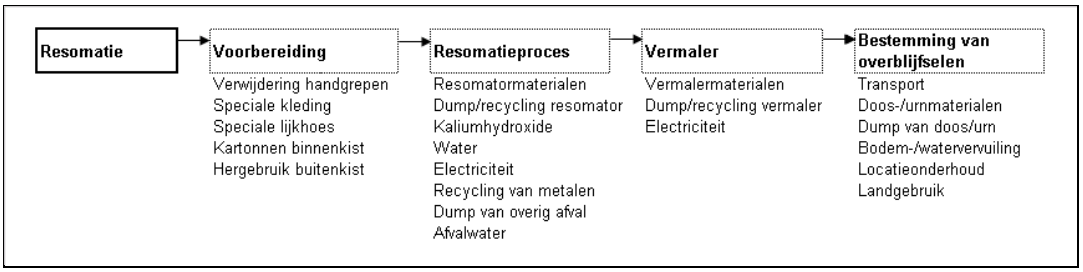
microben zijn niet meegenomen in de berekening, maar de (biogene) CO_2 die ze uitstoten wel.
Na de behandeling worden de overblijfselen teruggegeven aan de nabestaanden, hetzij in een pot met een plant naar keuze (dus als compost), hetzij in een doos om op een natuurbegraafplaats begraven te worden, of uitgestrooid te worden boven land of zee. Er is bij de berekening uitgegaan van de door Cyomation Ltd. voorgestelde verdeling van voorkeur voor de verschillende opties: 23% direct begraven en 77% behandelen, waarna 40% als compost wordt gebruikt, 14% wordt begraven, 20% boven land verstrooid wordt en 3% boven zee. Voor alle opties zijn dezelfde berekeningen gevolgd als voor bij begraven en cremeren, zoals het gebruik van het aangepaste afvalmodel om emissies van begraven te berekenen. Een klein aantal aanpassingen is gemaakt met betrekking tot de berekening van de effecten naar bodem en water:

- De onbehandelde resten bevatten in principe precies hetzelfde als een menselijk lichaam, maar hebben een aanpassing voor kwikemissies: 8.28 x 10^{-9} kg naar water en 1.69 x 10^{-10} kg naar de bodem.
- Bij “begraven als compost” zijn dezelfde emissies gehanteerd als bij het begraven van de behandelde gecryomeerde resten, maar twee dingen zijn anders; 1) bij emissies naar bodem, is het de subcompartiment gedefinieerd als "agricultural", en 2) er is iets toegevoegd aan het record: voor elke kg begraven materiaal wordt 1 kg van compost genoteerd als vermeden product.

De grafoppervlakte (en dus bijdrage van milieubelastende processen) is kleiner bij een cryomatie dan bij een “gewone” begrafenis. Bij onbehandelde resten is aangenomen dat er tweemaal zo weinig ruimte en onderhoud nodig is in vergelijking tot een reguliere begrafenis; voor de behandelde resten is viermaal zo weinig als een reguliere begrafenis gerekend. Daarnaast is er slechts 2 jaar (in tegenstelling tot 37.5 jaar) nodig voor de grafrust en is aangenomen dat er een houten dekplaat wordt geplaatst in plaats van een stenen monument, waarvoor geen fundering nodig is. Bij verstrooien boven land ligt de zaak anders; doordat er circa vijfmaal meer volume is, kunnen er minder personen per hectare verstrooid worden en zijn er dus vijfmaal zoveel onderhoudskosten per overledene.

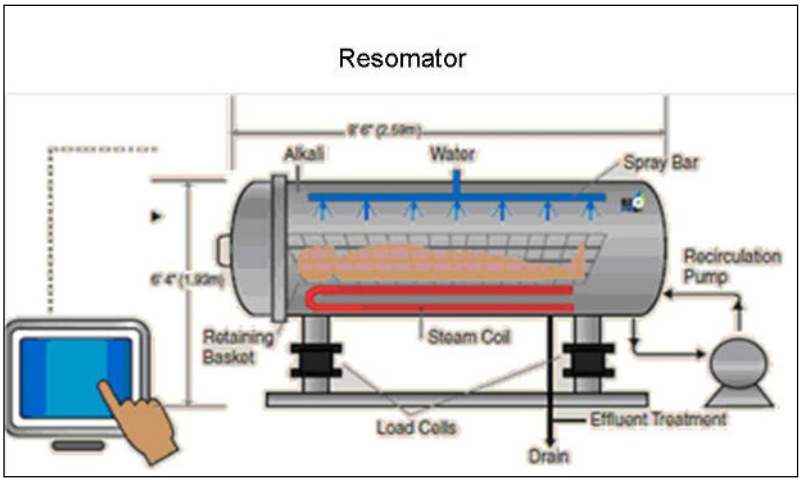
4.5 Resomeren

Resomeren, of in technische bewoordingen *alkalische hydrolyse*, is een gepatenteerde methode om de weke lichaamsdelen op te lossen in een basische vloeistof. Voor het gehele proces is ongeveer 500 liter water nodig.
Voor dit onderzoek werd gebruik gemaakt van informatie van Resomation Ltd. en zijn partners (Matthews Cremation, Biocremationinfo). Net als bij cryomeren zijn we er van 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 12 (voor zover niet vertrouwelijk).



Figuur 6 – Schematisch overzicht van het resomatieproces. Bron: persoonlijke communicatie met Resomation Ltd. in 2010/2011

Voorafgaand aan het resomatieproces dient het lichaam voorzien te zijn van kleding en een lijkhoes, die gemaakt zijn van eiwitten, zoals zijde, wol of leer. Het proces start met het scheiden van het lichaam en de kist. De kist kan worden hergebruikt, en net als bij cryomeren is aangenomen dat een kist 50 keer gebruikt wordt. Het lichaam, gewikkeld in de lijkhoes, wordt in een herbruikbare, roestvaststalen bak geplaatst. 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 180°C door middel van gasgestookte stoom die door een spiralen buizensysteem wordt geleid.
De druk wordt opgevoerd om de vereiste temperatuur voor een optimale hydrolyse te bereiken. Een circulatiepomp pompt de vloeistof continu rond via sproeiers. 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. Deze vloeistof bevat zouten, suikers, kleine peptides en aminozuren. Resomation Ltd. vermeldt dat de zuurgraad (pH) ergens tussen 10.5 -11.5 zal zitten en dat de vloeistof een COD en BOD zal hebben van gemiddeld respectievelijk 71.000 en 47.500 mg/L. Resomation Ltd. claimt dat de afgetapte vloeistof zonder verdere behandeling op het riool geloosd kan worden. Tijdens de rekenfase[6] van deze studie was geen exacte informatie bekend over de samenstelling van deze

[6] In de afrondende fase van het onderzoek kreeg TNO een wateranalyserapport toegestuurd. Dit rapport is meegenomen in de gevoeligheidsanalyse.

vloeistof. De samenstelling van het afvalwater is daarom gemodelleerd op basis van het lichaamsgewicht, minus de onderdelen van de resomatieas, opgelost in 310 liter water. Vervolgens is dit in de “calculation tool for municipal wastewater treatment plant” van Ecoinvent (Doka, 2002) ingevoerd, die de emissies van dit proces berekende. Dit is een vrij grove methode om de milieueffecten van het afvalwater te bepalen. Daarom is een gevoeligheidsanalyse op dit onderwerp toegevoegd (zie paragraaf 5.2.3).
Wat er overblijft in de resomator wordt ondergedompeld en gespoeld in water, dat verwarmd wordt tot 105˚C en 10 minuten op die temperatuur gehouden wordt, waarna het weer gekoeld wordt en uiteindelijk ook wordt afgevoerd. 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 80% hergebruikt zou worden.
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.
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. 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.

5 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de LCA berekeningen gepresenteerd en worden de milieueffecten van de vier 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 sprake van een bandbreedte, zodat de 'best practice' beter uit kan pakken dan in de resultaten is weergegeven.
De twee nieuwe technieken zijn beschouwd alsof ze reeds volledig operationeel zijn en geïntegreerd in het Nederlandse uitvaartwezen. Beperkingen voor wat betreft praktijkdata betekenen een extra foutmarge in de resultaten.

5.1 Milieueffect van de vier uitvaarttechnieken

5.1.1 De milieueffecten per effectcategorie

De milieueffecten van de vier uitvaarttechnieken worden getoond in Tabel 2 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 2 – Milieueffecten van de vier uitvaarttechnieken, per overledene

Effectcategorie	Eenheid	Begraven (gemiddeld)	Cremeren (gemiddeld)	Cryomeren	Resomeren
Uitputting abiotische grondstoffen (ADP)	kg Sb eq	1,26	0,82	0,27	-0,11
Verzuring (AP)	kg SO_2 eq	1,35	0,67	-0,32	-0,34
Vermesting (EP)	kg PO_4^{3-} eq	0,75	0,76	0,45	1,08
Klimaatverandering (GWP)	kg CO_2 eq	180,3	79,9	47,2	-31,8
Aantasting ozonlaag (ODP)	kg CFC11 eq	1,84E-05	5,53E-06	3,21E-06	2,18E-06
Humane toxiciteit (HTP)	kg 1,4-DCB eq	115	54	-18	-77
Zoetwater aquatische ecotoxiciteit (FAETP)	kg 1,4-DCB eq	34,6	0,0	-31,5	-40,0
Terrestrische ecotoxiciteit (TETP)	kg 1,4-DCB eq	2,53	2,30	0,15	-0,58
Smogvorming (POCP)	kg C_2H_2 eq	0,16	0,06	0,00	-0,01
Landgebruik (LC)	m^2.jaar	259,8	70,0	49,1	7,0

Tabel 2 laat zien dat per overledene:

- cryomeren en resomeren het minste milieueffect hebben voor alle effectcategorieën, met uitzondering van vermesting waar resomeren het hoogste is van alle technieken;
- begraven altijd het grootste milieueffect heeft voor alle effectcategorieën, met uitzondering van vermesting;
- als een logisch gevolg, crematie voor alle categorieën een milieueffect heeft dat ergens tussen de andere opties in ligt.

Per effectcategorie zijn er vaak een paar processen die een belangrijke rol spelen. Die worden hieronder een voor een kort besproken.

Uitputting abiotische grondstoffen
De uitputting van abiotische grondstoffen wordt voornamelijk veroorzaakt bij begraven en cremeren. In het eerste geval is het effect afkomstig van de steen en de katoenproductie voor de kist (zowel voor het garen als voor het weefproces). Dezelfde katoen is ook nodig voor cremeren. Een ander deel van het effect wordt bij cremeren veroorzaakt door aardgasverbruik. Cremeren, cryomeren en resomeren hebben daarnaast alle drie een grote compensatie door de metalenrecycling.

Verzuring
Bij verzuring spelen ook begraven en cremeren de grootste rol. De grootste factoren bij begraven zijn de elektriciteitsproductie voor het katoen van de kist en de productie en het transport van de grafsteen. Bij cremeren speelt het katoen van de kist wederom een rol, maar de emissies spelen een driemaal zo grote rol. Daarnaast is er sprake van een ongeveer even grote, doch compenserende rol voor metaalrecycling (vermeden palladiumwinning). De negatieve waarden bij cryomeren en resomeren worden eveneens veroorzaakt door vermeden palladiumwinning ten gevolge van recycling.

Vermesting
Vermesting speelt bij alle technieken een grote rol. Bij begraven komt dit voornamelijk door het begraven van het lichaam in de grond. Bij cryomeren komt het ook door het begraven of verstrooien van de stoffelijke resten in of boven de grond. Bij cremeren speelt zowel verstrooien boven zee als boven land een belangrijke rol, plus een compenserend effect dankzij metaalrecycling (vermeden goudwinning). Resomeren wordt gedomineerd door de behandeling van het afvalwater, gevolgd door verspreiding van de stoffelijke resten in en boven land en zee.

Klimaatverandering
Begraven levert de grootste bijdrage aan klimaatverandering, gevolgd door cremeren met een circa tweemaal zo kleine bijdrage. De steenwinning bij begraven veroorzaakt het grootste deel van het effect, gevolgd door de katoenproductie en de elektriciteit daarvoor. Bij cremeren wordt het effect ook veroorzaakt door de katoenproductie en daarnaast door de rookgasemissies. Daarnaast treedt er een compenserend effect op door metaalrecycling.

Aantasting ozonlaag
De aantasting van de ozonlaag is bij begraven drie- tot achtmaal zo sterk als bij de andere technieken. Meer dan de helft van het effect bij begraven wordt veroorzaakt door het grafmonument, namelijk door de steenwinning, het transport en kleinere factoren.

Humane toxiciteit
Humane toxiciteit is het sterkst bij begraven, tweemaal minder bij cremeren, en ook een grote speler maar dan negatief, bij resomeren. De humane toxiciteit wordt voor een groot deel veroorzaakt door de kist, namelijk door de katoenproductie en de stalen handgrepen. Bij begraven speelt daarnaast het grafmonument een rol. Bij cremeren komt het grootste effect van staalproductie voor kist en machine (oven),

maar wordt een deel gecompenseerd door metaalrecycling (vermeden goudwinning). Bij resomeren speelt de machine een kleinere rol en is het voornaamste effect afkomstig van de metaalrecycling.

Zoetwater aquatische ecotoxiciteit
Deze categorie is vrij typisch: de waarden voor begraven, cryomeren en resomeren is ongeveer even hoog, echter positief voor de eerste en negatief voor de laatste twee. Bij begraven wordt de grootste belasting veroorzaakt door de katoenproductie. Bij cryomeren en resomeren zorgt de goudrecycling voor het vermijden van milieueffect.

Terrestrische ecotoxiciteit
Begraven en cremeren scoren allebei het hoogst, en ongeveer even hoog, qua terrestrische ecotoxiciteit. In beide gevallen speelt de katoenproductie een grote rol.

Smogvorming
Bij begraven wordt de meeste smog gevormd, gevolgd door cremeren. De helft van het effect bij begraven wordt veroorzaakt door de steen. Een kleiner deel wordt veroorzaakt door de kist. De kist speelt ook een rol bij cremeren, evenals de rookgasemissies. De palladiumrecycling compenseert echter ook voor een groot deel het effect.

Landgebruik
Landgebruik is niet alleen belangrijk voor begraven, zoals verwacht, maar is ook voor cremeren en resomeren. Een groot deel van het landgebruik bij begraven en cremeren komt van de kistmaterialen zoals spaanplaat, hout en katoen. Het landgebruik van cryomeren is voornamelijk een resultaat van de houtproductie voor het gedenkteken op het graf wanneer de resten worden begraven[7].

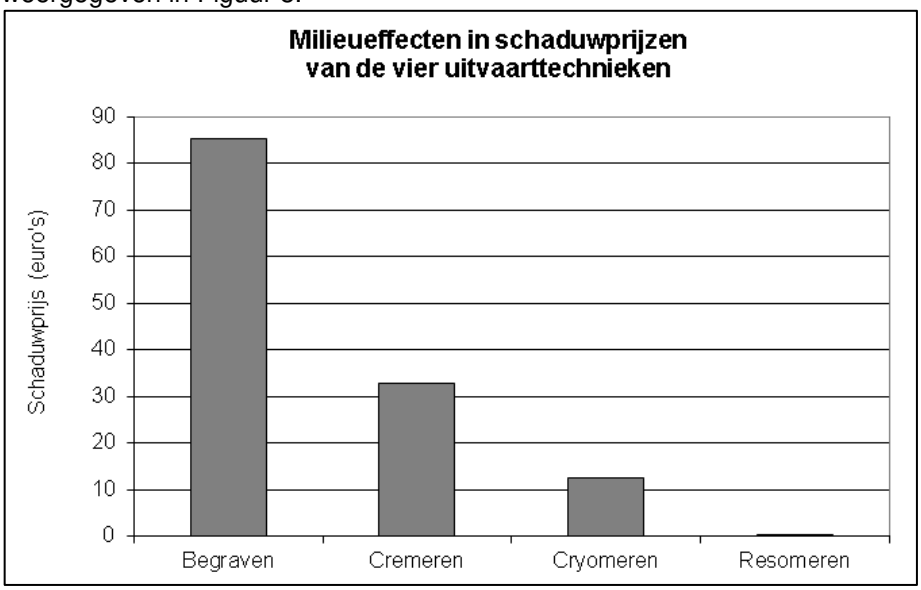
Alle effectcategorieën tezamen
De resultaten, die hierboven genoemd worden leiden tot de verwachting dat de netto milieubelasting van de uitvaarttechnieken het grootst is voor begraven en het kleinst voor resomeren of cryomeren. Echter, omdat de verschillende effectcategorieën uitgedrukt zijn in verschillende eenheden, is het niet mogelijk om ze op te tellen en kwantitatieve uitspraken te doen over het totale milieueffect van de verschillende uitvaarttechnieken.

5.1.2 Het totale milieueffect, uitgedrukt in schaduwprijzen

In dit hoofdstuk wordt de schaduwprijzenmethode gebruikt om het totale milieueffect van de verschillende uitvaarttechnieken te berekenen en om te onderzoeken welke onderdelen het sterkst bijdragen aan dit totaaleffect. Hierbij is een wegingsstap toegepast, en daarmee valt dit gedeelte van het onderzoek niet onder de ISO-norm.
De milieueffecten van alle effectcategorieën zijn uitgerekend voor alle materialen en (deel)processen van de vier uitvaarttechnieken.
Een compleet overzicht van de resultaten is gegeven in Bijlage E.

[7] De specifieke materiaalkeuze voor het gedenkteken op het graf in geval van het begraven van de gecryomeerde resten wordt verder geanalyseerd in paragraaf 5.2.5.

Het totale milieueffect, uitgedrukt als schaduwprijs, voor de uitvaarttechnieken is weergegeven in Figuur 8.



Figuur 8 – Totaal milieueffect van de bestaande uitvaarttechnieken begraven en cremeren en de nieuwe uitvaarttechnieken cryomeren en resomeren, uitgedrukt in schaduwprijzen

De resultaten van Figuur 8 maken duidelijk dat het totale milieueffect (als schaduwprijs):

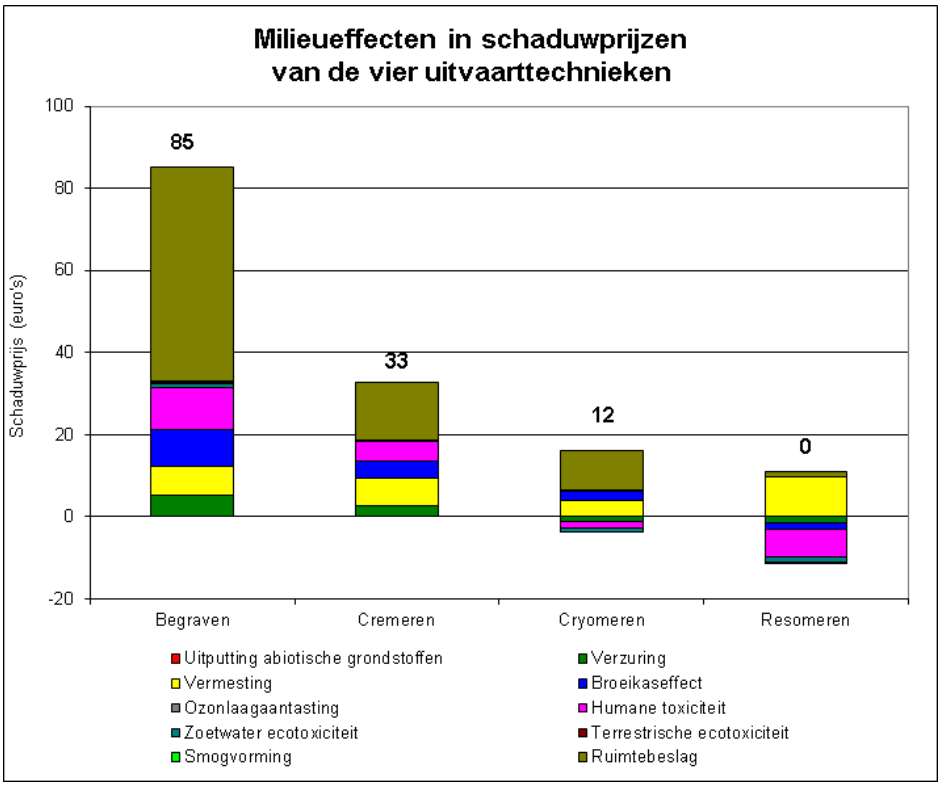
- van begraven het grootst is (meer dan 7 keer zoveel als bij cryomeren en zelfs nog veel meer dan bij resomeren);
- van cremeren ongeveer een derde is ten opzichte van begraven.

In Tabel 3 zijn de milieueffecten in de vorm van schaduwprijzen per effectcategorie weergegeven voor alle vier de uitvaarttechnieken.

Tabel 3 – Schaduwprijzen per effectcategorie voor de vier uitvaarttechnieken. De schaduwprijs voor Uitputting Abiotische Grondstoffen (ADP) is 0 euro/kg, en daarom is de waarde voor elke uitvaarttechniek ook 0. Mariene Aquatische Ecotoxiciteit (MAETP) is weggelaten, zoals vermeld bij Tabel 1

Effectcategorie	**Schaduwprijs per overledene (euro's)**			
	Begraven	**Cremeren**	**Cryomeren**	**Resomeren**
Uitputting abiotische grondstoffen (ADP)	0,00	0,00	0,00	0,00
Verzuring (AP)	5,42	2,69	-1,27	-1,35
Vermesting (EP)	6,76	6,84	4,01	9,71
Klimaatverandering (GWP)	9,01	4,00	2,36	-1,59
Aantasting ozonlaag(ODP)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Humane toxiciteit (HTP)	10,31	4,85	-1,59	-6,92
Zoetwater aquatische ecotoxiciteit (FAETP)	1,04	0,00	-0,95	-1,20
Terrestrische ecotoxiciteit (TETP)	0,15	0,14	0,01	-0,03
Smogvorming (POCP)	0,33	0,12	0,01	-0,02
Landgebruik (LC)	52,22	14,08	9,86	1,42
Totaal milieueffect (als schaduwprijs)	**85**	**33**	**12**	**0**

De resultaten van Tabel 3 voor de verschillende effectcategorieën zijn ook weergegeven in Figuur 9.



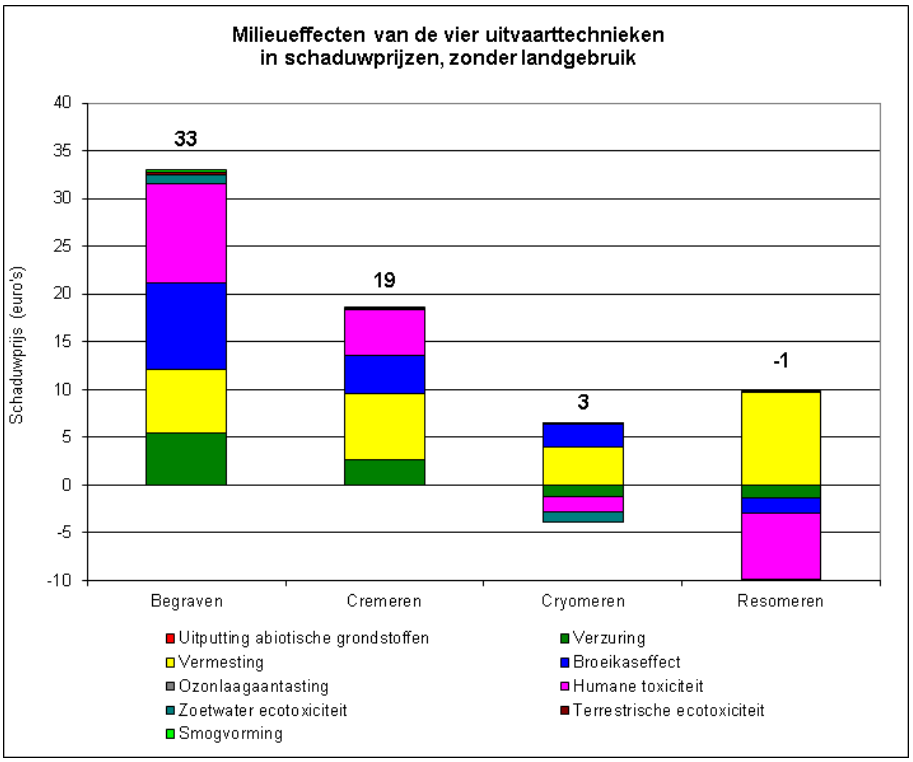
Figuur 9 - Milieueffecten, uitgedrukt in schaduwprijzen, van de vier uitvaarttechnieken: begraven, cremeren, cryomeren en resomeren. De getallen boven de kolommen representeren de netto schaduwprijzen

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

- Begraven: landgebruik, humane toxiciteit, klimaatverandering, …
- Cremeren: landgebruik, vermesting, humane toxiciteit, …
- Cryomeren: landgebruik, vermesting, klimaatverandering, …
- Resomeren: vermesting, humane toxiciteit*, klimaatverandering, …

Opvallend is dat, gegeven de schaduwprijzen-weegmethode, bij resomeren de milieueffecten in feite geheel worden gecompenseerd door de milieuvoordelen. Bij cryomeren vindt ook compensatie plaats, maar daar blijft een netto milieubelasting over. In paragraaf 5.1.3 wordt toegelicht hoe de verschillende processtappen bijdragen aan de netto schaduwprijs.

Landgebruik is dominant in 3 van de 4 technieken. De weegfactor voor landgebruik staat vooralsnog meer ter discussie dan de weegfactoren van andere effectcategorieën. Daarom is ook een berekening uitgevoerd zonder de effecten van landgebruik. Het resultaat is te zien in Figuur 10.

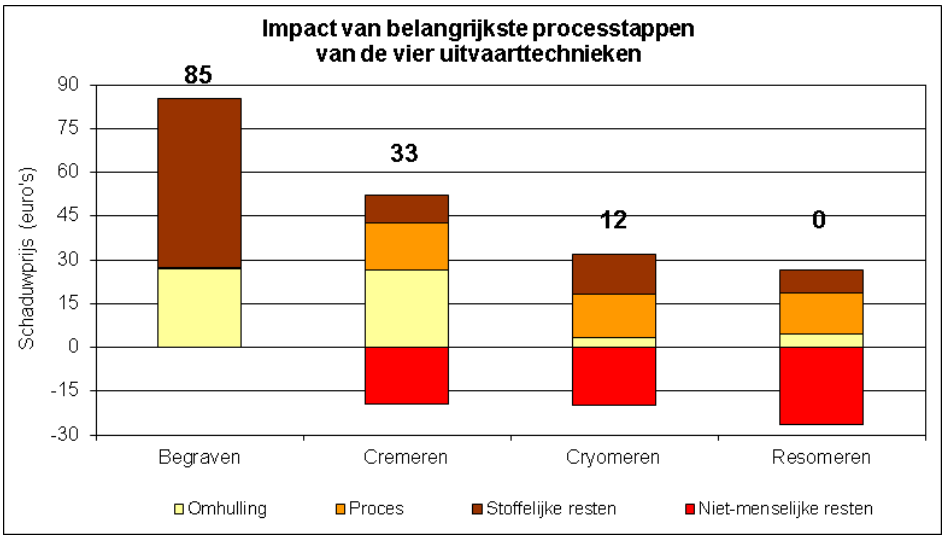


Figuur 10 – Milieueffecten, uitgedrukt in schaduwprijzen zonder landgebruik, van de vier uitvaarttechnieken: begraven, cremeren, cryomeren en resomeren. De getallen boven de kolommen representeren de netto schaduwprijzen

Alle balken in Figuur 10 zijn lager dan in Figuur 9, maar de conclusies over relatieve hoogtes veranderen niet; begraven is nog steeds duidelijk de slechtst scorende optie, cryomeren en resomeren zijn de beste opties en cremeren zit in het midden. Opvallend is dat resomeren een hogere schaduwprijs lijkt te hebben dan cryomeren, maar uiteindelijk lager uitvalt door de negatieve schaduwprijs (compenserend milieueffect) van recycling. Door deze compensatie heeft resomeren zelfs een klein netto milieuvoordeel als landgebruik buiten beschouwing wordt gelaten.
In algemene zin komen de verschillen in de milieueffecten van de technieken nu nog duidelijker naar voren. Bij begraven blijken humane toxiciteit en broeikaseffect de grootste effecten. Bij de andere drie technieken is vermesting duidelijk het grootste effect.

5.1.3 *Milieueffecten van de belangrijkste processtappen*

In de volgende figuren wordt geanalyseerd welke rol de verschillende procesonderdelen van de uitvaarttechnieken spelen. De effecten van de belangrijkste stappen, zoals die beschreven zijn in hoofdstuk 4, staan in Figuur 11. De verdeling van de kleinere stappen over deze vier belangrijkste stappen wordt uitgelegd in het bijschrift.



Figuur 11 - Impact van de belangrijkste processtappen van de vier uitvaarttechnieken

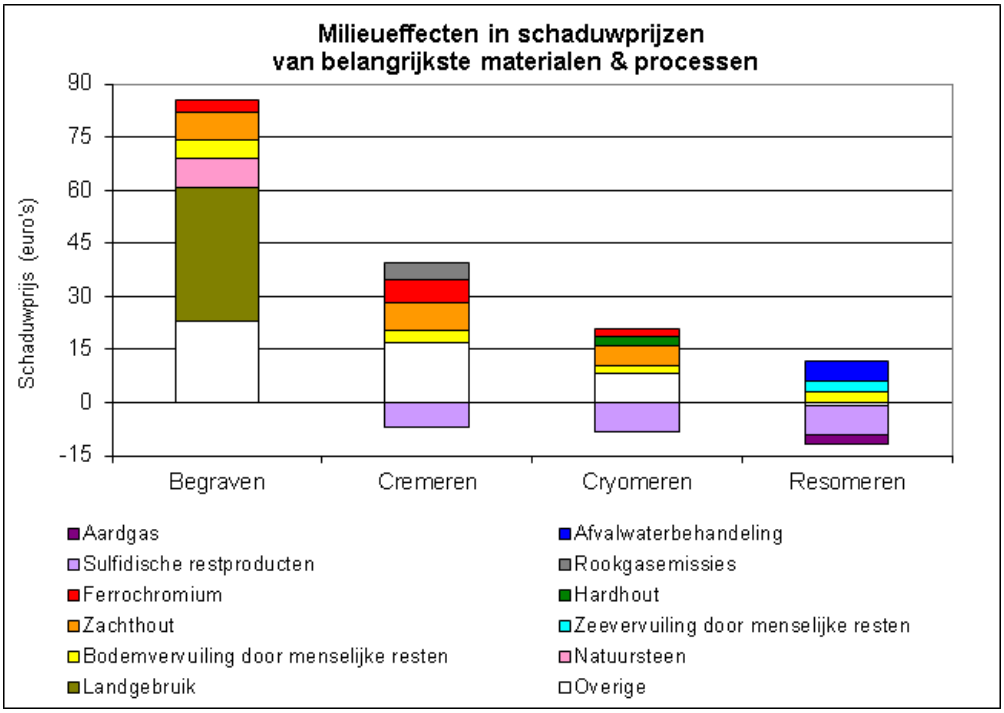
Toelichting bij Figuur 11: "Omhulling" omvat de lijkhoes, kist, en, indien ter zake, speciale kleding. "Proces" omvat voorbereidende activiteiten zoals graven en de lift, de processen zelf, directe emissies naar water en lucht, machines, en hulpbronnen. "Stoffelijke resten" gaat over de grafrustperiode, monument, behandeling van overblijfselen zoals asvermaling, verstrooiing, etcetera. "Niet-menselijke resten" omvat recycling of hergebruik van alle metalen die iets met het lichaam te maken hebben (de behandeling van de kist en machine zitten reeds in de voorgaande categorieën) en het verwijderen van kunstgebitten.

De balk van begraven verschilt nogal van de andere balken in de grafiek. "Proces" is niet zichtbaar bij begraven, omdat alleen het graven en de lift hierbij horen, en te klein zijn om op te vallen en omdat begraven geen machinaal proces heeft zoals de andere technieken. Evenmin is "niet-menselijke resten" zichtbaar, omdat de niet-menselijke materialen samen begraven worden met de menselijke resten en niet los behandeld worden, en dus ook niet los berekend worden; de niet-menselijke resten zijn meegerekend in de balk met "stoffelijke resten".
De andere drie opties kunnen onderling goed vergeleken worden door middel van Figuur 11. "Omhulling" laat grote verschillen zien: een grote impact voor begraven en cremeren, een kleine impact voor cryomeren en resomeren, omdat eerstgenoemden 1 kist per overledene verbruiken, terwijl de laatstgenoemden 50 uitvaarten met 1 kist doen. Voor cremeren is de omhulling bepalend voor het verschil in impact met cryomeren en resomeren. "Proces" is vrijwel gelijk voor alle drie de uitvaarttechnieken. "Niet-menselijke resten" is slechts een klein beetje verschillend voor elke optie, omdat bij cremeren en cryomeren sprake is van recycling, terwijl bij resomeren een deel van materialen hergebruikt wordt[8].
Tenslotte toont "stoffelijke resten" enige variatie in de uitkomsten. Deze worden verder onderzocht in de gevoeligheidsanalyses in paragraaf 5.2.2.

[8] Resomation Ltd claimt onder andere dat bepaalde materialen hergebruikt kunnen worden, en net als bij alle andere aangeleverde gegevens is er van uit gegaan dat dit klopt, omdat het in Resomations eigen belang is om betrouwbare informatie aan te leveren. Het is echter nog niet bewezen dat de kwaliteit van protheses na een resomatie hoog genoeg is om hergebruikt te worden en het is de vraag of ze in de praktijk ook daadwerkelijk hergebruikt zullen worden. Dit zijn echter vragen die hier niet beantwoord kunnen worden, en die onder de foutmarge van de studie vallen.

5.1.4 *De milieueffecten van belangrijkste materialen en processen*

De bijdrage van de materialen en processen in de levenscyclus aan het totale milieueffect van de verschillende uitvaarttechnieken zijn apart berekend. Om inzichtelijk te maken welke factoren de grootste bijdrage leveren aan de totale impact van elke uitvaarttechniek, zijn de vijf grootste bijdragen in termen van schaduwprijzen weergegeven in Figuur 12.



Figuur 12 - Milieueffecten in schaduwprijzen van belangrijkste materialen en processen van de vier uitvaarttechnieken. De vijf meest bijdragende factoren worden getoond.

Figuur 12 laat zeer verschillende materialen en processen zien. Vier factoren zijn zichtbaar bij meer dan een uitvaarttechniek:

- Bodemvervuiling door menselijke resten komt terug in alle uitvaarttechnieken. Het effect lijkt het grootst bij begraven, maar dat is enigszins misleidend omdat bij begraven 100% van de stoffelijke overschotten de grond in gaan, terwijl bij de andere technieken verondersteld was dat slechts 75% of 80% in de grond zou komen ten gevolge van verstrooien boven land of begraven; het overige gedeelte wordt verstrooid boven zee. Mede daardoor is de bijdrage aan bodemvervuiling groter bij begraven dan bij de andere technieken, meer conclusies kunnen hier nu nog niet over getrokken worden.
- Zachthout is belangrijk bij begraven, cremeren en cryomeren. Bij de eerste twee wordt dit veroorzaakt door het aantal kisten dat van zachthout gemaakt wordt. Bij cryomeren is dit vooral een gevolg van het houten grafmonument wanneer de resten begraven worden (zie paragraaf 5.2.5 voor de gevoeligheidsanalyse van de specifieke materiaalkeuze).
- Ferrochromium is ook belangrijk bij begraven, cremeren en cryomeren, als milieueffect van het gebruik van roestvast staal voor de handgrepen van de kist en voor de cryomator.
- Sulfidische restproducten zijn een gevolg van primaire goudproductie. De milieueffecten hiervan worden vermeden dankzij de recycling van goud.

- Deze vermeden milieueffecten zijn zichtbaar als negatieve schaduwprijzen bij cremeren, cryomeren en resomeren.

Naar aanleiding van Figuur 12 kunnen we concluderen dat de verschillen in milieueffect tussen de uitvaarttechnieken (behalve begraven) sterk beïnvloed worden door compenserende effecten van metaalrecycling. Cremeren, cryomeren en resomeren bieden betere mogelijkheden voor recycling van waardevolle metalen dan begraven. Bij cryomeren en resomeren vindt de scheiding van de menselijke en niet-menselijke resten efficiënter plaats dan bij cremeren, waardoor de overblijvende asresten iets schoner worden. Bij begraven wordt het grootste deel van het milieueffect bepaald door landgebruik.

5.2 Gevoeligheidsanalyses

5.2.1 Overzicht

Bij gevoeligheidsanalyses wordt de gevoeligheid van de resultaten voor variaties in de inputgegevens 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.

Voor deze studie zijn zes gevoeligheidsanalyses uitgevoerd, op de volgende onderwerpen:

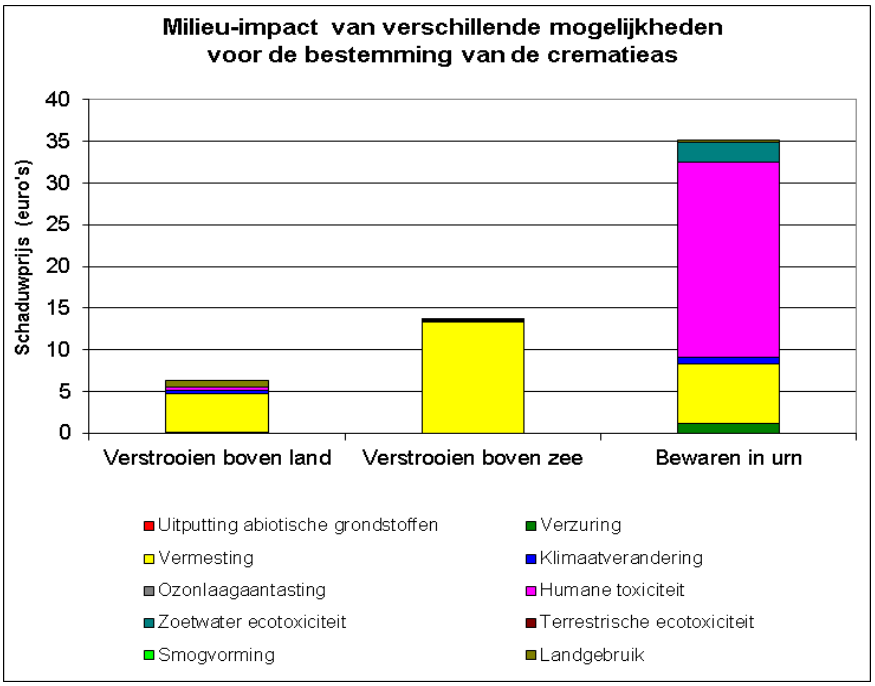
1) Bestemming van overblijfselen.
   Bij cremeren, cryomeren en resomeren zijn meerdere opties voor de bestemming van de overblijfselen en aan elke optie is een percentage toegekend. De vraag die rijst is dan welke invloed die percentages hebben, en hoe de milieueffecten van deze bestemmingsopties eruit zien zonder deze verdeling.
2) Samenstelling van het afvalwater bij resomeren.
   Over het afvalwater bij resomeren bestaat veel onduidelijkheid en weinig empirische informatie. Er zijn grove aannames gedaan op dit onderwerp, die hier getest worden.
3) Hulpbronnen bij resomeren en cryomeren.
   De nieuwe technieken zijn nog amper getest door externen, en de informatie die de bedrijven aanleverden voor deze studie bevat daardoor enige onzekerheid. Deze analyse test, door middel van variatie van de inputgegevens, hoe gevoelig en afhankelijk de resultaten zijn voor en van de inputgegevens.
4) Grafmonumenttype voor begraven na cryomeren.
   Een grote speler bij cryomeren leek het houten grafmonument bij cryomeren, zoals te zien in Figuur 12. Cryomation Ltd had deze materiaalkeuze doorgegeven als “meest voor de hand liggend”. Bij deze analyse wordt getest hoe groot de invloed is van deze keuze.
5) Metaalrecycling
   Metaalrecycling heeft grote invloed op de resultaten en vraagt daarom om een gevoeligheidsanalyse. Bij deze gevoeligheidsanalyse is het percentage primair metaal dat gerecycled wordt, gevarieerd.
6) Omhulling
   Het milieunadeel van cremeren ten opzichte van de twee nieuwe technieken is vooral gelegen in de omhulling.
   In de gevoeligheidsanalyse is de mogelijke variatie aangegeven ten opzichte van de gemiddelde Nederlandse situatie voor cremeren.

Deze gevoeligheidsanalyses worden verder bediscussieerd in de volgende secties. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk worden kort overige gevoeligheden besproken, die verder niet kwantitatief onderzocht zijn.

5.2.2 *Bestemming van overblijfselen*

De uiteindelijke bestemming van de overblijfselen beïnvloedt de totale milieu-impact van de uitvaart. Voor begraven zijn de invloeden duidelijk: de specifieke locatie van de begraafplaats heeft grote invloed op de snelheid en het verloop van het ontbindingsproces. Bijvoorbeeld, begraven in veengronden veroorzaakt meer methaanemissies en zorgt daarmee voor meer klimaatverandering dan begraven in zandgronden. Hoe groot de effecten van deze andere omstandigheden zijn, is niet bekend. Voor de milieu-impact van de bestemming van de overblijfselen bij de andere uitvaarttechnieken zouden wel berekeningen gedaan kunnen worden. Bij de algemene resultaten is steeds gerekend met een bepaalde verdeling van de verschillende bestemmingsopties, maar voor deze gevoeligheidsanalyse is gekeken naar de losse opties, zonder weging.
De opties zijn steeds per techniek geanalyseerd. In de opeenvolgende paragrafen geven Figuur 13, Figuur 14 en Figuur 15 de resultaten weer van de vergelijking van de verschillende bestemmingsmogelijkheden voor respectievelijk crematieas, gecryomeerde overblijfselen en geresomeerde overblijfselen (na verwijdering van waardevolle metalen). De uitleg wat deze opties inhouden, is terug te vinden in Hoofdstuk 4.

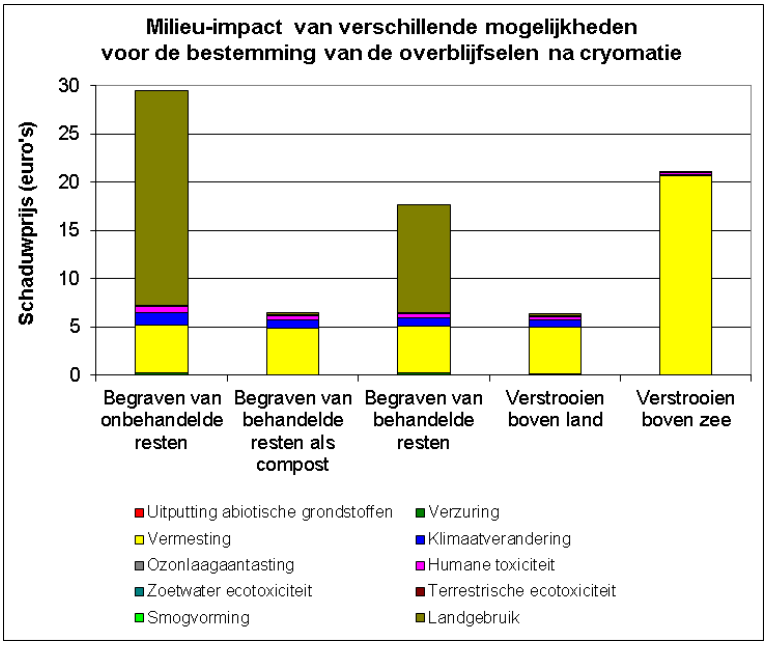
<u>Bestemming van crematieas</u>



Figuur 13 - Vergelijking van de milieueffecten van verschillende mogelijkheden voor de bestemming van de overblijfselen na crematie. De verschillende mogelijkheden worden omschreven in Hoofdstuk 4. In de standaardsituatie was de verdeling als volgt (van links naar rechts): 75%, 20% en 5%. De totale impact van de overblijfselen was 9.3 Euro.

De resultaten laten zien dat verstrooien boven zee slechter voor het milieu is dan verstrooien boven land. De as in een urn bewaren heeft een grote impact die voornamelijk veroorzaakt wordt door de productie van messing, dat een groot milieueffect heeft voor met name humane toxiciteit. In dit onderzoek is aangenomen dat 80% van de urnen van messing gemaakt was, omdat dit getal aangeleverd was door een urnenproducent.
Deze materiaalkeuze kan bediscussieerd worden, maar de vraag is hoe groot het effect van de urn is op het totaal. Voor de gehele LCA van cremeren zal het specifieke materiaal voor de urn waarschijnlijk geen grote invloed hebben, omdat het bewaren in een urn slechts in 5% van de gevallen toegepast wordt.
In dit geval bepaalt de keuze voor messing 1.2 Euro[9] van de volledige milieu-impact van een crematie. De keuze voor een ander materiaal, met een kleiner milieueffect dan messing, zou de totale impact van crematie dus slechts verlagen met hooguit een Euro.

Bestemming van de overblijfselen na cryomatie
Er zijn vele mogelijkheden voor de bestemming van de overblijfselen van een cryomatie. De milieueffecten worden getoond in Figuur 14.



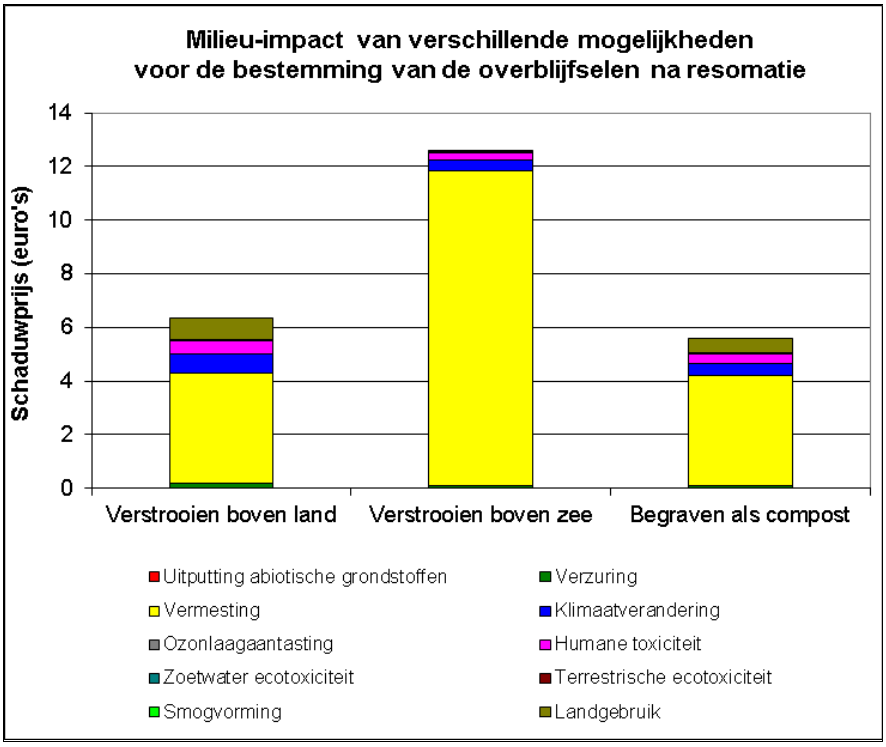
Figuur 14 - Vergelijking van de milieueffecten van verschillende mogelijkheden voor de bestemming van de overblijfselen na cryomatie. Voor de behandelde overblijfselen is de microbiële behandeling ook meegenomen. De verschillende mogelijkheden worden omschreven in Hoofdstuk 4. In de standaardsituatie was de verdeling als volgt (van links naar rechts): 23%, 40%,14%, 20% en 3%. De totale impact van de overblijfselen was 13.9 Euro.

Direct begraven van onbehandelde en behandelde overblijfselen en verstrooien boven zee, hebben een groot milieueffect ten gevolge van landgebruik en vermesting.

[9] Dit kan afgeleid worden uit Figuur 13. Het verschil tussen de urn en verstrooien boven land, is 35-6 = 29 euro. Gegeven is het feit dat 80% van de urnen messing is en dat 5% van alle crematieassen bewaard wordt in een urn. Alle messing urnen negeren levert de volgende berekening op: €29 x 80% x 5% = 1.2 Euro.

Begraven van de behandelde overblijfselen als compost of verstrooien van de behandelde overblijfselen boven land hebben de kleinste invloed (een hoeveelheid landgebruik). Een klein voordeel van begraven als compost is dat de productie van kunstmest vermeden wordt. Zonder dit voordeel scoort het even hoog als gewoon begraven van behandelde overblijfselen. Verstrooien boven land is dus opnieuw de optie met het kleinste totale milieueffect.
Het bewaren van de gecryomeerde overblijfselen in een urn is niet meegenomen, maar dezelfde redenering gevolgd zou kunnen worden als voor crematieas. Het bewaren van de overblijfselen in een urn veroorzaakt een grotere impact dan direct verstrooien boven land vanwege de urnproductie en -afdanking. Als een fractie van alle bestemmingen van de overblijfselen in een urn bewaard zou worden, dan zou het totale milieueffect van cryomeren ongeveer een euro meer kunnen zijn (afhankelijk van het urnmateriaal en hoe vaak deze optie gekozen zou worden).
De resultaten van de verschillende opties laten zien dat het totale milieueffect van cryomeren in de toekomst grotendeels afhankelijk is van de verdeling van de keuzes, oftewel, van welke keuzes gemaakt zullen worden met betrekking tot de laatste bestemming. Deze keuze valt moeilijk te voorspellen, de resultaten zijn hier dus sterk gevoelig voor.

Bestemming van de overblijfselen na resomatie



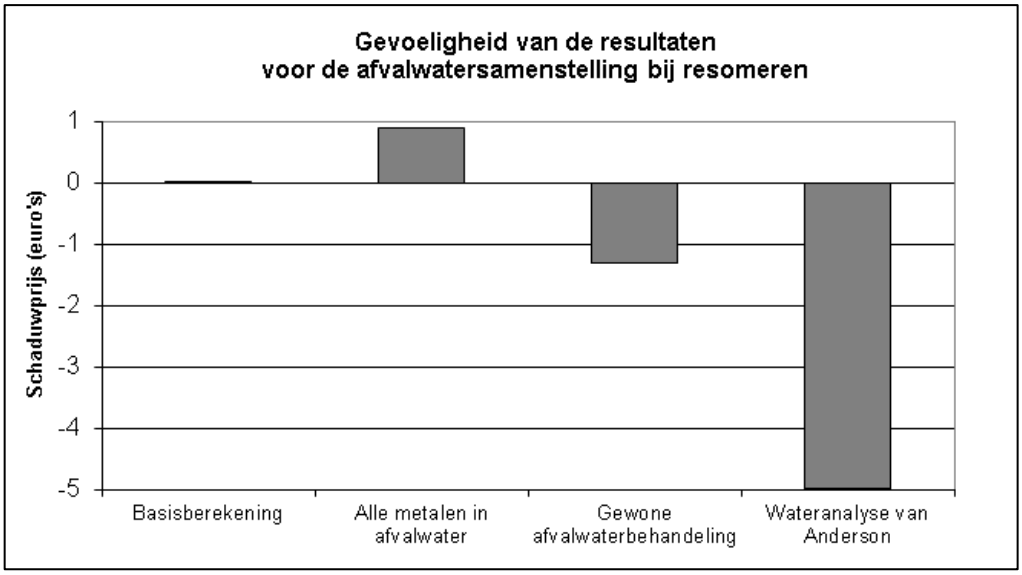
Figuur 15 - Vergelijking van de milieueffecten van verschillende mogelijkheden voor de bestemming van de overblijfselen na resomatie. De verschillende mogelijkheden worden omschreven in Hoofdstuk 4. In de standaardsituatie was de verdeling als volgt (van links naar rechts):): 25%, 25% en 50%. De totale impact van de overblijfselen was 7.51 Euro.

Voor de overblijfselen na resomatie zijn er minder opties, maar de resultaten in Figuur 15 leiden tot dezelfde conclusies als voor de gecryomeerde overblijfselen. Verstrooiing boven zee heeft de grootste impact, begraven als compost of verstrooiing boven land hebben de kleinste, met dien verstande dat begraven als

compost daarbij nog een compensatiefactor heeft in de vorm van vermeden kunstmestproductie, waardoor die schaduwprijs net iets lager is. Het bewaren van de geresomeerde overblijfselen in een urn is niet meegenomen, maar dit zou waarschijnlijk slechts een kleine invloed hebben, zoals betoogd in de vorige paragraaf.
Over het algemeen lijken de beschikbare opties bij resomeren redelijk op die van cremeren. Grote veranderingen in de verdeling van de keuze voor deze opties wordt daarom niet verwacht. De algemene resultaten worden dus maar in beperkte mate beïnvloed door de specifieke verdeling van de bestemmingen.

5.2.3 Samenstelling van resomatie afvalwater

De samenstelling van het afvalwater, dat bij het resomeren vrijkomt, is een moeilijke factor om te modelleren, in eerste instantie omdat dit onderzoek niet over gegevens beschikte van de exacte samenstelling van het water. De samenstelling van het lichaam (volgens, onder andere, Forbes (1987); zie Bijlage D) was gebruikt als uitgangspunt, aannemende dat de botten (voornamelijk calciumfosfaat) niet zouden oplossen in de vloeistof en ook een zekere hoeveelheid metalen in of aan de botten zou blijven zitten.
De vraag is echter welk deel van de metalen en mineralen in de botten achterblijft (en daarmee in bodem en water terechtkomt na verstrooiing of begraven) en welk deel in het afvalwater terechtkomt dat via het riool naar de regionale afvalwaterzuivering gaat. In de standaardberekening zijn de metalen en mineralen evenredig verdeeld over de overblijfselen en de vloeistof.
Voor deze gevoeligheidsanalyse is nagegaan wat er zou gebeuren in een “worst case scenario”, als alle genoemde stoffen in de oplossing terechtkomen en niet in de botten achterblijven. Daarnaast is onderzocht wat het effect is als het afvalwater van de resomatie niet speciaal behandeld zou hoeven te worden, maar beschouwd zou kunnen worden als gewoon afvalwater. Tot slot ontving TNO nog het rapport van een wateranalyse van dhr. Anderson van de Contaminated Land Assessment & Remediation Research Centre [Dijk & Mennen, 2002], dat in opdracht van Resomation Ltd. is uitgevoerd. Deze wateranalyse werd meegenomen als derde optie in de gevoeligheidsanalyse. De resultaten van deze analyse staan in Figuur 16.



Figuur 16 - Gevoeligheidsanalyse voor de samenstelling van het resomatieafvalwater. De grafiek laat het effect zien van de variaties op het milieueffect van de gehele levenscyclus van een resomatie.

De linker balk van Figuur 16 toont de oorspronkelijke berekening waarbij 50% van de metalen in het afvalwater terecht komt; de balk daarnaast toont de situatie met alle metalen in het afvalwater. Deze balken verschillen in absolute zin slechts een Euro, maar dit bepaalt wel het verschil tussen wel of geen netto milieuimpact. Dit laat zien dat het modelleren van de juiste hoeveelheid metalen en mineralen die in het afvalwater terechtkomen, weliswaar niet belangrijk is voor de milieuvoorkeur voor resomeren ten opzichte van andere technieken, maar wel voor de conclusies omtrent het al dan niet netto milieubelastend zijn van resomeren.
De derde balk, berekend met gewone afvalwaterbehandeling, is een euro lager dan de oorspronkelijke berekening en dus 2 euro lager dan de berekening met alle metalen in het afvalwater. Dit betekent dat het beschouwen van het resomatiewater als normaal afvalwater zou kunnen leiden tot een onderschatting van de milieueffecten.
Echter, de laatste balk, die gebaseerd is op de wateranalyse van Anderson [Anderson, 2007], laat een geheel ander beeld zien: deze balk toont een negatieve schaduwprijs voor resomeren. Dat deze balk negatief kan zijn, wordt veroorzaakt door de recycling van metalen, die een compensatie opleveren voor de milieubelasting. In deze balk is de milieubelasting zelfs netto negatief.
Een aantal dingen moeten opgemerkt worden, voordat er conclusies getrokken worden uit Figuur 16. Allereerst vertoont de wateranalyse van Anderson een aantal grote afwijkingen met de lichaamssamenstelling volgens Forbes (1987), die gebruikt is in de andere scenario's. Dit illustreert eens te meer de grote verschillen in uitkomsten, die veroorzaakt worden door de aannames omtrent de watersamenstelling. Een andere complicatie is, dat er geen volledig inzicht is in de massabalans van koolstof in het resomatieproces, hetgeen eveneens een grote oorzaak is van variatie in de resultaten.

De conclusie van deze gevoeligheidsanalyse is dat vanwege de verschillen in aannames voor de watersamenstelling, de totale milieu-impact van een resomatie ergens tussen ongeveer 1 euro en ongeveer –5 euro ligt.

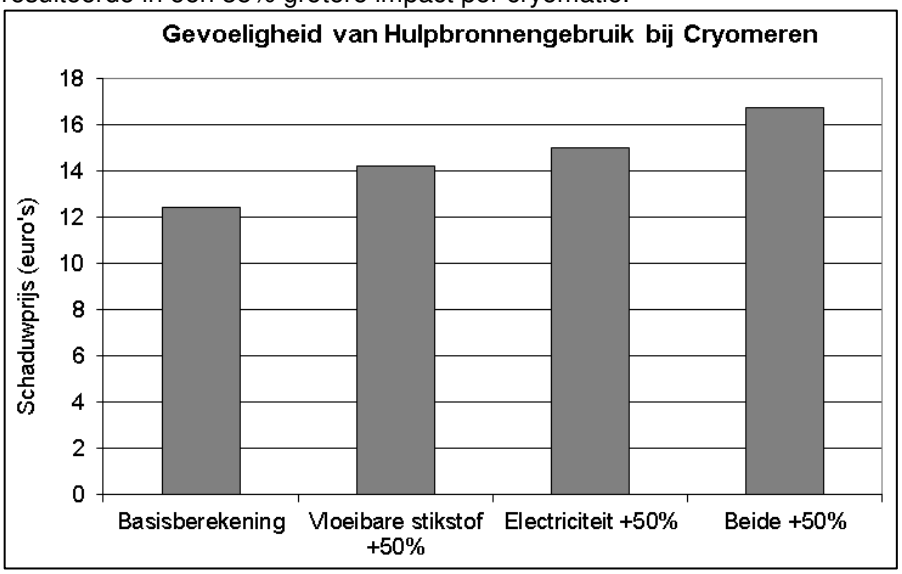
Op basis van de hiermee aangetoonde onzekerheid is dus niet te concluderen of resomeren netto milieubelastend is, milieuneutraal of een milieuvoordeel heeft. Resomeren houdt wel steeds een milieuvoordeel ten opzichte van de andere technieken, ongeacht de gebruikte afvalwatersamenstelling.

5.2.4 Hulpbronnen

De verkregen data voor de benodigde hulpbronnen voor de nog niet in bedrijf zijnde uitvaarttechnieken, cryomeren en resomeren, zijn mogelijk nog niet erg nauwkeurig. Daarom zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd met de aannames dat de hulpbronnen 50% hoger zouden kunnen zijn dan zoals vermeld in de ontvangen data. De volgende paragrafen gaan over deze specifieke analyses.

Cryomeren

Belangrijke hulpbronnen bij cryomeren zijn vloeibare stikstof en elektriciteit. De invloed van deze hulpbronnen is onderzocht door hun gebruik te vermeerderen met 50%. De resultaten van deze gevoeligheidsanalyse zijn weergegeven in Figuur 17. De ongunstigste situatie, waarbij van beide hulpbronnen 50% meer verbruikt wordt, resulteerde in een 35% grotere impact per cryomatie.

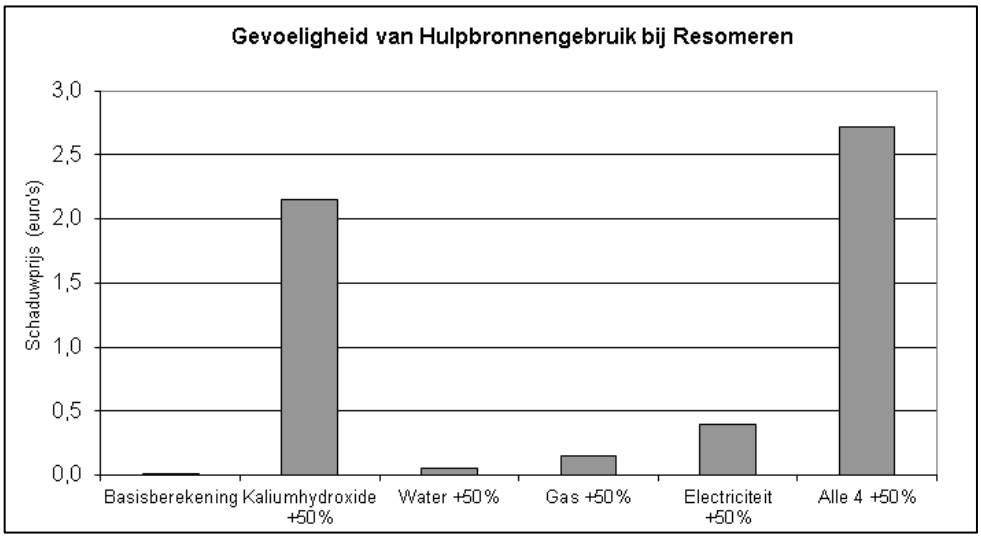


Figuur 17 – Gevoeligheid van het hulpbronnengebruik bij cryomeren

Resomeren

Voor resomeren werd dezelfde procedure gevolgd. De belangrijkste hulpbronnen zijn kaliumhydroxide, water, gas en elektriciteit. Het variëren van de hoeveelheid kaliumhydroxide heeft twee complicaties, namelijk dat de concentratie en de zuurgraad van het afvalwater zullen veranderen. Er is voor gekozen om alleen de inputgegevens te veranderen en niet de veranderingen in de samenstelling van het afvalwater mee te nemen.

De hulpbronnen kaliumhydroxide, water, gas en elektriciteit zijn dus ieder vergroot met 50% om hun invloed op het totale effect te zien. De resultaten worden weergegeven in Figuur 18. Wanneer het gebruik van kaliumhydroxide verhoogd wordt met 50%, resulteert dit in een toename van de impact met ruim twee euro, waarmee resomeren in de buurt komt van cryomeren qua milieuimpact. Variaties in water-, gas- en elektriciteitsverbruik hebben slechts een ondergeschikte invloed op de totale milieu-impact.



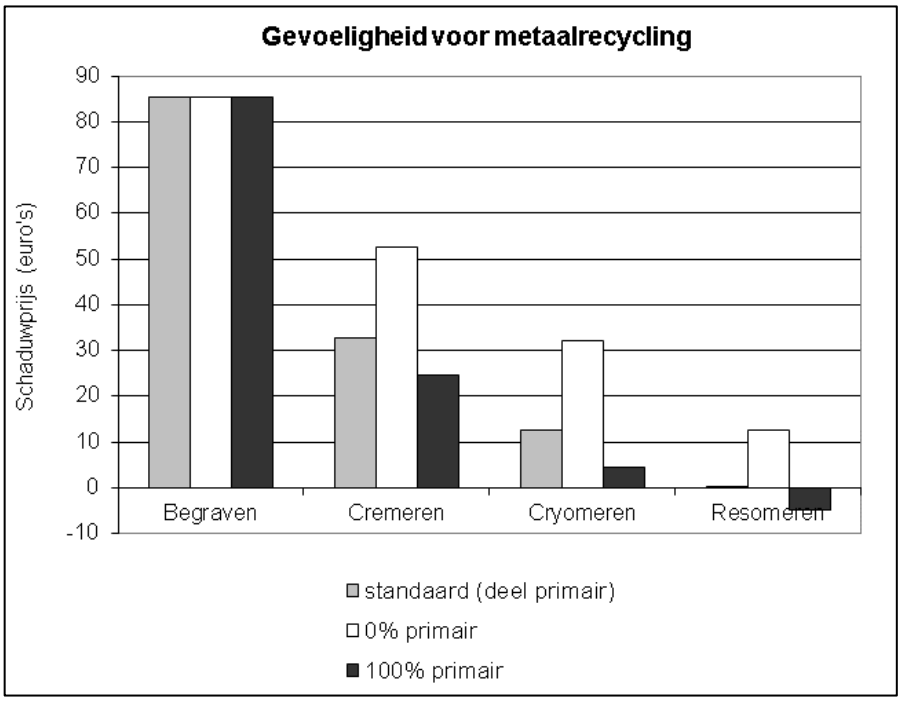
Figuur 18 - Gevoeligheid van het hulpbronnengebruik bij resomeren

5.2.5 *Monumenttype voor begrafenissen na cryomeren*

De impact van zachthout op het totale milieueffect van cryomeren lijkt nogal hoog (zie Figuur 12), terwijl dit van een vrij specifieke doch willekeurige materiaalkeuze afkomstig is, namelijk de opgave voor het grafmonument bij cryomeren. Een extra analyse is uitgevoerd om het effect van deze materiaalkeuze inzichtelijk te maken. Bij deze analyse is een stenen grafmonument gekozen in plaats van een houten grafmonument. Dit is consequent doorgevoerd voor alle variaties die mogelijk zijn voor het begraven van de gecryomeerde resten.
Het milieueffect van dit cryomatiescenario is minder dan in de standaardsituatie; de totale schaduwprijs voor een cryomatie is nu 9 euro, hetgeen een reductie van circa 3.5 euro betekent ten opzichte van een houten grafmonument. Dit laat zien dat de specifieke materiaalkeuze grote invloed heeft op het uiteindelijke resultaat bij cryomeren, maar niet op de algemene conclusies betreffende de milieu-impact van de vier uitvaarttechnieken.

5.2.6 *Metaalrecycling*

Bij deze gevoeligheidsanalyse is geanalyseerd in hoeverre de resultaten beïnvloed worden door de variatie van de 'bonus' bij recycling als gevolg van de keuze van het percentage primair materiaal bij de productie van metalen. NB: voor chirurgische metalen is de productie op zichzelf niet meegenomen, maar de aanname van de verhouding primair/secundair materiaal beïnvloedt wel de vermeden milieubelasting bij recycling. Figuur 19 toont de netto schaduwprijzen voor drie scenario's: het standaardscenario waarbij voor een deel van het materiaal de productie van primair materiaal vermeden wordt na recycling (zie Tabel 7), een scenario met 0% vermeden primair materiaal en een scenario met 100% vermeden primair materiaal. Het recyclingsrendement van 90% blijft op alle scenario's van toepassing.



Figuur 19 – Gevoeligheidsanalyse voor vermeden milieuimpact bij recycling van metalen: schaduwprijzen voor de drie uitvaarttechnieken in drie scenario's. De volgende scenario's zijn berekend: de standaardsituatie waarbij voor een deel van het metaal de milieubelasting van primaire productie vermeden werd na recycling, en situaties waarbij 0 en 100% primair materiaal vermeden wordt. Bij begraven veranderd vrijwel niets, omdat er bijna geen metaal gerecycled wordt (alleen voor marginale zaken zoals de lift).

Figuur 19 laat zien dat metaalrecycling een zeer invloedrijke factor is; tussen 0 en 100% primair materiaal zorgt voor een verschil in uiteindelijke schaduwprijs van de uitvaarttechniek tot circa 30 euro. Echter, deze grafiek laat ook zien dat de recyclingspercentages de belangrijkste conclusies niet veranderen; begraven blijft de grootste schaduwprijs hebben, resomeren de laagste, in alle scenario's. Bij 100% vermeden primaire productie is de netto milieubelasting bij resomeren negatief, m.a.w. brengt een milieuvoordeel met zich mee. Enige relativering is op zijn plaats: de milieubelasting is negatief omdat voor chirurgische metalen de recycling wel wordt meegeteld maar de oorspronkelijke productie niet.

5.2.7 Omhulling

Het verschil tussen cremeren aan de ene kant, en cryomeren en resomeren aan de andere kant wordt vrijwel geheel bepaald door de verschillen in milieubelasting van de omhulling. Bij de gemiddelde situatie voor cremeren is voor de kist een gemiddelde gemaakt van spaanplaat, eikenhout en vurenhout. De bekleding bepaalt bijna de helft van de milieubelasting van de kist.
Als gevolg van de keuze voor het materiaal van de kist kan de milieubelasting in schaduwkosten een factor 3 à 4 variëren, met eikenhout als minst milieuvriendelijke optie en spaanplaat als meest milieuvriendelijke. Door hergebruik speelt de productie van de kist bij cryomeren en resomeren nauwelijks een rol. De extra milieubelasting bij cremeren ten opzichte van cryomeren of resomeren kan door materiaalkeuze van de kist met ca. 40% verlaagd worden ten opzichte van het gemiddelde. Bij gebruik van hergebruikt hout kan het verschil nog iets verder gereduceerd worden. De voorkeursvolgorde verandert echter niet.

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 gedekt in paragraaf 5.2. Er blijft echter altijd een scala aan onderwerpen over die interessant kunnen zijn om verder te bekijken. Die onderwerpen worden hier kort behandeld.

5.3.1 Methodiek

In deze studie zijn de resultaten zowel ongewogen als gewogen gepresenteerd. Weging impliceert echter subjectiviteit. Een deel van deze subjectiviteit kan opgeheven worden door meerdere weegmethoden te gebruiken, zoals ReCiPe en Ecoindicator ’99, en de resultaten met elkaar te vergelijken. Deze gevoeligheidsanalyse is niet uitgevoerd omdat de rangorde van de vier technieken bij bijna alle effectcategorieën hetzelfde is (zie paragraaf 5.1.1) en uit een eerdere studie op dit gebied was gebleken dat de methode geen doorslaggevende invloed had op de conclusies (Keijzer, 2011).
De gehanteerde excelmodellen, het stortplaatsmodel en het afvalwatermodel, verdienden ook een kritische analyse. Het afvalwatermodel is in de paragraaf hiervoor aan een gevoeligheidsanalyse onderworpen. Voor het stortplaatsmodel waren er aanwijzingen (op basis van dezelfde studie van Keijzer, 2011) dat de gemaakte keuzes niet veel uit zouden maken, en daarom is deze hier niet verder onderzocht.

5.3.2 Keuzes

In iedere studie worden legio keuzes gemaakt, 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 zetten. In de toekomst, als meer bekend is over de ontwikkeling van de technieken, kan een herberekening zinvol zijn. Er is op dit moment nog weinig bekend over hoe de technieken zich zullen ontwikkelen.
Naast deze systeemkeuze zijn er ook vele keuzes gemaakt op het gebied van o.a. materiaalkeuze. Wanneer deze keuzes duidelijk invloed hadden op de resultaten, zoals het houten grafmonument bij cryomeren, is hier een gevoeligheidsanalyse voor gedaan. In de overige gevallen is er geen analyse gedaan.

5.3.3 Input

De gevoeligheid van de inputs sluit aan bij de vorige sectie. Wanneer er duidelijke aanwijzingen waren dat een bepaalde input veel invloed, een grote foutmarge of veel variatie had, dan is hier extra goed naar gekeken. In de meeste gevallen, bijvoorbeeld bij de variatie aan waarden voor gasverbruik bij cremeren, was theoretisch te beredeneren waarom een bepaalde gemiddelde waarde zou voldoen. Extra gevoeligheidsanalyses waren hier niet nodig.

5.3.4 Grote bijdragen die het beeld bepalen

De grootste spelers zijn geanalyseerd met behulp van onder andere Figuur 12. Hierbij geldt hetzelfde als in de vorige secties: deze resultaten zijn theoretisch geanalyseerd en daarna was er geen aanleiding meer tot een extra gevoeligheidsanalyse, afgezien van de gedane analyses.

5.3.5 Trends

Een laatste discussiepunt is de invloed van trends op de resultaten. Toekomstige ontwikkelingen die de resultaten zouden kunnen beïnvloeden zijn:

- Uitputting van hulpbronnen; schaarste aan fossiele brandstoffen zou bijvoorbeeld het relatieve milieueffect van cremeren sterker maken ten opzichte van de andere technieken.
- Waterschaarste; de milieuscore van resomeren zou kunnen veranderen als water schaarser zou zijn.
- Klimaatverandering; een warmer klimaat kan invloed hebben op ontbindingsprocessen bij het begraven van overblijfselen. Hier is verder niets over bekend.
- Recycling van metalen; naar verwachting zullen de mondiale recyclingpercentages van metalen stijgen. Door het beter sluiten van de kringlopen is de impact van een gemiddelde kilo metaal lager, omdat er minder uit erts geproduceerd hoeft te worden. De compensatie door recycling van chirurgische metalen zal hierdoor ook lager worden, wat het voordeel van cremeren, cryomeren en resomeren ten opzichte van begraven kleiner maakt.

Daarnaast zijn er nog een aantal ontwikkelingen die een rol zouden kunnen spelen.

- Balseming: in Nederland is balseming niet toegestaan, maar sinds 2010 is een lichte vorm van balseming wel toegestaan, thanatopraxie. Het is nog niet duidelijk welke invloed dit heeft op de milieueffecten van de verschillende uitvaarttechnieken.
- Verandering in tandvullingen. Het aantal kwikvullingen neemt af door de jaren en wordt vervangen door ander materiaal. De invloed hiervan op de berekende milieueffecten is echter marginaal, omdat de filtering in Nederland zo uitgebreid is dat er nauwelijks kwik uitgestoten wordt. Uit de resultaten bleek inderdaad dat de bijdrage van de kwikemissies bij cremeren marginaal is. Van veranderingen in de samenstelling van tandvullingen wordt dus niet verwacht dat het veel invloed heeft.

-

6 Conclusies

Uit vergelijking van de LCA-resultaten voor de verschillende milieueffectcategorieën wordt voor de vier uitvaarttechnieken geconcludeerd dat:

- cryomeren en resomeren het kleinste milieueffect hebben in alle categorieën, met uitzondering van de categorie vermesting, waarvoor resomeren de grootste impact heeft van alle opties;
- de gemiddelde wijze van begraven het grootste milieueffect heeft voor alle categorieën, behalve voor vermesting;
- de gemiddelde wijze van cremeren in alle categorieën een milieueffect heeft dat ergens tussen de andere opties in ligt.

Deze resultaten leiden tot de verwachting dat het totale milieueffect van de verschillende uitvaarttechnieken het grootst is voor begraven en het kleinst is voor resomeren of cryomeren en dat cremeren daar ergens tussenin ligt.

De schaduwprijzenmethode is gebruikt om op basis van de verschillende effectcategorieën, de totale milieu-impact van iedere uitvaarttechniek te berekenen. De totale impact (uitgedrukt in een schaduwprijs) voor de vier uitvaarttechnieken ligt tussen ongeveer 3 Euro per overledene voor resomeren en ongeveer 85 Euro per overledene voor begraven. De andere twee uitvaarttechnieken liggen daar tussen in: rond 30 Euro voor cremeren en circa 10 Euro voor cryomeren.

Het milieueffect van begraven wordt voornamelijk bepaald door het milieueffect van landgebruik. Bij de andere uitvaarttechnieken wordt het totale milieueffect grotendeels bepaald door de compenserende effecten van metaalrecycling (met name bij cryomeren en resomeren). Bij deze uitvaarttechnieken zijn er betere mogelijkheden voor het recyclen van waardevolle metalen uit de reststromen van de overblijfselen, voordat die de uiteindelijke bestemming krijgen.

Belangrijke parameters met betrekking tot de milieueffecten zijn de bestemming van de overblijfselen, de samenstelling van het afvalwater bij resomeren, het gebruik van hulpbronnen in de processen en de specifieke materiaalkeuze voor het grafmonument. Het milieunadeel van cremeren ten opzichte van cryomeren en resomeren wordt voornamelijk bepaald door de omhulling.
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 uitvaarttechnieken. 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. Dit is enigszins anders voor cryomeren, omdat het volume van de gecryomeerde overblijfselen veel groter is dan bij cremeren en er daardoor meer opties zijn voor de uiteindelijke bestemming van de overblijfselen. Welke opties in de toekomst het meest gebruikt zullen gaan worden is moeilijk te voorspellen. De gevoeligheidsanalyse laat zien dat het toekomstige milieueffect van cryomeren hiervan grotendeels afhankelijk is.
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 1 Euro en ongeveer –5 Euro.

Een toename in het gebruik van de belangrijkste hulpbronnen (vloeibare stikstof en elektriciteit) met 50% leidt voor cryomeren tot een toename van de milieu-impact van ongeveer 30%. In geval van resomeren leidt een toename in het gebruik van kaliumhydroxide met 50% tot bijna een verdubbeling van het totale milieueffect.

De uitgangspunten met betrekking tot de recycling en de toegekende milieuvoordelen voor het in de keten houden van metalen, hebben een grote invloed op de onderlinge verhoudingen van de vier alternatieven. De voorkeursvolgorde verandert echter niet. De keuze van het materiaal voor de omhulling bij cremeren bepaalt in hoge mate de grootte van het milieunadeel van cremeren ten opzichte van cryomeren en resomeren. Ook hier wordt de voorkeursvolgorde niet beïnvloed.

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.

De algemene conclusie voor de milieu-impact van het verwerken van de stoffelijke overschotten van een gemiddelde overledene in Nederland is dat het totale milieueffect het grootst is voor begraven gevolgd door cremeren. De impact van cryomeren en resomeren is veel kleiner dan voor begraven en cremeren in de gemiddelde Nederlandse situatie. De impact van resomeren is (waarschijnlijk) het kleinst van alle uitvaarttechnieken.

7 Referenties

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

Appelman & Kok (2005). *Beoordeling van de milieu-effecten van het Amalgator kwikafvangsysteem voor crematoria.* Apeldoorn: TNO Bouw en Ondergrond.

Axelrad *et al.* (2009). PCB body burdens in US women of childbearing age 2001-2002: an evaluation of alternate summary metrics of NHANES data. *Environmental research, 1090,* pp368-378.

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

Dent & Knight (1998). Cemeteries: a special kind of landfill. The context of their sustainable management. *Conference of the International Association of Hydrogeologists: "Groundwater: Sustainable Solutions",* pp451-456. Melbourne, February 1998.

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

Doka (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 from: www.ecogeek.org/component/content/article/1529 (last visited: 29-11-2010).

Eggels & Ven (2000). *Background data for the building environment, a reference database. The VLCA database.* TNO-MEP R2000/130. Apeldoorn: TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation.

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

Guinée, J.B. *et al.* (2001). LCA - An operational guide to the ISO-standards.

Goedkoop, de Schryver & Oele (2008). Introduction to LCA with SimaPro 7. Amersfoort: PRé Consultants.

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

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

Lima *et al.* (2008). Activated carbon from broiler litter: Process description and cost of production. *Biomass and bioenergy, 32,* pp568-572.

Mbuyi-Muamba *et al.* (1988). Biochemistry of bone. *Baillière's Clinical Rheumatology, 2 (1),* pp63-101.

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 *et al*. (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 from: http://ecm.ncms.org/ERI/new/IRRsecsmelt.htm (last visited: 30-11-2010).

Pré Consultants (2010). SimaPro 7.2, http://www.pre.nl/simapro/

Slooff *et al.* (1994). *Basisdocument kwik*. Rapportnummer 710401023. Bilthoven: RIVM.

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

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

Swiss Centre for Life Cycle Inventories (2009). Ecoinvent database v2.1. http://www.ecoinvent.org/database/

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

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.

8 Ondertekening

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

Naam en functies van de medewerkers:
T.N. Ligthart, Dr.: LCA expert
M.E. Head, MSc.: LCA expert

Periode waarin het onderzoek plaatsvond:
Augustus 2010 – Juli 2011

Naam en ondertekening interne reviewer
R.N. van Gijlswijk, BSc

Ondertekening:

H.J.G. Kok, MSc
Projectleider

Goedkeuring:

R.A.W. Albers, MPA
Research Manager

A Review LCA studie “Milieueffecten van verschillende uitvaarttechnieken

ISO 9001 certified
research and consultancy on sustainability

IVAM

Plantage Muidergracht 14
P.O. Box 18180
1001 ZB Amsterdam
The Netherlands

tel +31 (0)20 525 5080
fax +31 (0)20 525 5850
www.ivam.uva.nl

Yarden Holding BV
t.a.v. de heer John Heskes
Postbus 10118
1301 AC ALMERE

Betreft: Review LCA studie "Milieueffecten van verschillende uitvaarttechnieken"

Amsterdam, 21 juli 2011

Geachte heer Heskes,

Het TNO rapport TNO-060-UT-2011-00819 "Milieueffecten van verschillende uitvaarttechnieken" is door Ir Bart Krutwagen (CE Delft) en Ir Harry van Ewijk (IVAM UvA BV) in drie ronden beoordeeld op basis van rapportversies van respectievelijk 6, 14 en 20 juli.
De correspondentie van de reviewers aan TNO, gedateerd 8 en 18 juli, met reacties daarop van 14 en 20 juli, is desgewenst beschikbaar bij IVAM en TNO.

De beschrijving van het onderwerp van de studie, inclusief de titel (oorspronkelijk: "Milieueffecten van verschillende uitvaartmogelijkheden"), en de vergelijkbaarheid van gemiddelde bestaande technieken enerzijds en nieuwe technieken anderzijds vormden de rode draad.

Opvallend misverstand was dat Cryomation Yarden Press Release 25 June 2010 suggereert dat er een samenwerkingsovereenkomst is tussen Cryomation Ltd en Yarden, terwijl dat niet meer blijkt te zijn dan een bevestiging van Cryomation dat zij ingaan op Yarden's verzoek om informatie.

De review heeft geleid tot enkele inhoudelijke aanpassingen en andere presentatie, maar leidt niet tot een wezenlijk ander resultaat.

Het finale oordeel luidt dat het 20 juli rapport van de TNO studie "Milieueffecten van verschillende uitvaarttechnieken" voldoet aan de vereisten volgens NEN 14040/44 en goed LCA vakmanschap.

Dat wil zeggen:

- De LCA is consistent met de methodische eisen uit de ISO14040/44.
- De methoden die gebruikt zijn om de LCA uit te voeren zijn uit wetenschappelijk en technisch oogpunt valide.
- De gebruikte gegevens zijn voldoende onderbouwd en zijn redelijk in relatie tot het doel van de studie.
- De interpretaties en de geïdentificeerde beperkingen weerspiegelen het doel van het onderzoek.
- Het rapport van het onderzoek is transparant en consistent.

De weging van individuele milieueffectcategorieën naar een 'single score' (schaduwprijzen), valt buiten de kritische beoordeling omdat weging geen deel uitmaakt van ISO 14040/44.

Hoogachtend,

Ir Harry van Ewijk

B Milieueffectcategorieën

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

Uitputting van abiotische grondstoffen (ADP)
Abiotische grondstoffen zijn natuurlijke hulpbronnen die als levenloos worden beschouwd, zoals ijzererts, ruwe olie en windenergie. De uitputting van abiotische grondstoffen is een van de meest bediscussieerde effectcategorieën en er is dientengevolge een grote hoeveelheid verschillende methodes beschikbaar om de bijdrages aan deze categorie te karakteriseren. Het uitputten van schaarse grondstoffen wordt beoordeeld aan de hand van de totale voorraad van de stof (metaal, mineraal, energiedrager) in verhouding tot het jaarlijks verbruik.

Klimaatverandering (GWP)
Klimaatverandering is gedefinieerd als het effect van menselijke emissies op het warmtestraling-absorberend vermogen van de atmosfeer. Dit kan op zijn beurt negatieven effecten hebben op de stabiliteit van het ecosysteem, de volksgezondheid en materiële welvaart. Broeikasgassen vergroten het warmtestraling-absorberend vermogen waardoor de temperatuur van het aardoppervlak stijgt, in de volksmond 'het broeikaseffect' geheten. Broeikasgassen hebben elk een verschillende Broeikaseffect Potential en elke afzonderlijke emissie kan worden omgerekend tot een equivalente hoeveelheid kooldioxide (CO_2) emissie.

Aantasting ozonlaag (ODP)
De aantasting van de stratosferische ozonlaag door menselijke emissies zorgt ervoor dat een groter gedeelte van de UV-B straling van de zon het aardoppervlak bereikt, met mogelijk schadelijke effecten op volksgezondheid, dierlijke gezondheid, terrestrische en aquatische ecosystemen, biochemische cycli en –stoffen. De belangrijkste ozonlaagaantastende stoffen zijn de zogenaamde chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) en halonen. Het ozonlaag aantastende vermogen van deze stoffen wordt uitgedrukt in equivalenten van de referentiestof CFK-11.

Humane, aquatische en terrestrische toxiciteit (HTP, FAETP, MAETP, TETP)
Voor het bepalen van de potentiële toxiciteit van de stof wordt gerekend met een multimediaal verspreidingsmodel, USES , ontwikkeld door RIVM, en vertaald naar LCA toepassing door de Universiteit van Amsterdam (Huijbregts, 2000). Door middel van stofspecifieke verspreidingsfactoren wordt bepaald hoeveel van de initiële emissie uiteindelijk *in potentie* in andere milieucompartimenten terecht komt. Vervolgens worden de berekende hoeveelheden per stof per milieucompartiment gedeeld door een uit de toxicologie afgeleide factor, zoals acceptable daily intake (ADI) of no-observed-effect concentration (NOEC), afhankelijk van de effectcategorie en de stofgroep.
Humane toxiciteit verwijst naar de effecten van toxische stoffen in het milieu op de volksgezondheid. Zoetwater aquatische ecotoxiciteit en mariene aquatische ecotoxiciteit verwijzen naar het effect van toxische stoffen op respectievelijk zoetwater aquatische ecosystemen en mariene aquatische ecosystemen.

Terrestrische ecotoxiciteit verwijst naar de effecten van toxische stoffen op terrestrische ecosystemen. De humane toxiciteit, aquatische en terrestrische ecotoxiciteit worden uitgedrukt in 1,4-dichloorbenzeenequivalenten.

Fotochemische oxidantvorming (POCP)
Fotochemische oxidantvorming is de vorming van reactieve chemische verbindingen, zoals ozon, door de werking van zonlicht op bepaalde primaire luchtvervuilende stoffen. Deze reactieve verbindingen kunnen schadelijk zijn voor zowel de gezondheid als voor gewassen. Fotochemische oxidanten kunnen onder invloed van ultraviolet licht in de troposfeer gevormd worden, door de fotochemische oxidatie van vluchtige organische stoffen (VOS) en koolmonoxide (CO) in aanwezigheid van stikstofoxiden (NOx). Het vermogen tot smogvorming van stoffen is bepaald met C_2H_2 als referentie.

Verzuring (AP)
Verzurende stoffen hebben een lange reeks effecten op bodem, grondwater, oppervlaktewateren, organismen en ecosystemen. Verzuring wordt veroorzaakt door emissies van verzurende stoffen naar lucht, de voornaamste verzurende emissies zijn SO_2, NO_x en NH_x. Het verzurend vermogen van een emissie wordt omgerekend naar SO_2-equivalenten. Voorbeelden van de gevolgen van verzuring zijn onder meer de afname van bossen, het vergaan van bouwmaterialen en de vissterfte in Scandinavische meren.

Vermesting (EP)
Vermesting beslaat alle potentiële effecten van overmatig hoge niveaus van macronutriënten, de meest belangrijke daarvan zijn stikstof (N) en fosfor (P). Nutriëntverrijking kan ongewenste verschuivingen in de soortensamenstelling en verhoogde biomassaproductie teweegbrengen, in zowel aquatische als terrestrische ecosystemen. Hoge concentraties nutriënten kunnen bovendien oppervlaktewater ongeschikt maken als drinkwater. In aquatische ecosystemen kan de vergrote biomassa leiden tot verlaagde zuurstofniveaus, vanwege het extra zuurstofverbruik door biomassa-afbraak. Het totaal vermestende effect van een emissie wordt omgerekend naar PO_4-equivalenten.

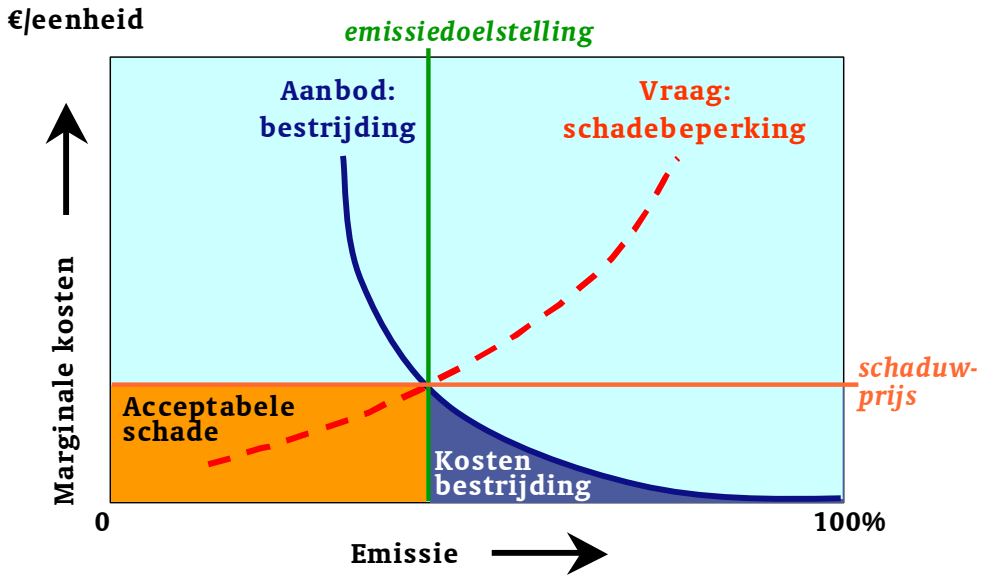
Landgebruik (LC)
De milieu-impact voor landgebruik heeft alleen betrekking op het in gebruik zijn van schaars grondoppervlak gedurende een bepaalde periode en niet op het effect op biodiversiteit of op andere effecten op het ecosysteem. De eenheid is dan ook het oppervlak maal de tijd (m^2.jaar).

C De schaduwprijzen methode als maat voor de totale milieu impact bij de CML-LCA methodiek

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 B1).



Figuur B1 - 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, 2007a, 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. In Tabel 4 en Tabel 5 worden de samenstelling van respectievelijk de menselijke en niet-menselijke materialen behorende bij de overledene opgesomd. Tabel 6 biedt achtergrond voor de berekeningen met het stortplaatsmodel. De gehanteerde getallen met betrekking tot metaalrecycling zijn gegeven in Tabel 7. Tabel 8 gaat over rookgasemissies. Tot slot bieden Tabel 9 tot en met Tabel 12 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, Cryomation Ltd, 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 4 - Samenstelling van lichaam en overblijfselen voor de verschillende procesonderdelen. De uitleg achter deze tabel is gegeven in paragraaf 4.1.1.

Proces-stap:	*Begraven van lichaam*	*Crematieas*	*Onbehandelde gecryomeerde overblijfselen*	*Behandelde, gecryomeerde overblijfselen*	*Geresomeerde overblijfselen*	*Geresomeerde overblijfselen voor gevoelig-heidsanalyse*
Bron:	*Forbes (1987), Slooff* et al. *(2004) & Axelrad* et al. *(2009)*	*Smit (1996) [warmestart oven, na vermaling; medianen]*	*Berekening gebaseerd op lichaamssamen-stelling & informatie van Cryomation*	*Berekening gebaseerd op lichaamssamen-stelling & informatie van Cryomation*	*Berekening gebaseerd op lichaamssamen-stelling & informatie van Resomation*	*Berekening gebaseerd op lichaamssamen-stelling & ana-lyse van Anderson (2007)*
Eenheid:				*gram drooggewicht*		
Al	0.06	35	0.000	0.060		
As	0	0.01	0.000	0.000		
Au	<0.01	0.44				
Ba	0.02	1.6	0.022	0.020		
Be	<0.0001					
Bo	<0.05					
Br	0.2		0.225	0.204		0.200
Cd	0.05	0.00	0.056	0.050		0.050
Co	<0.01	0.04				
Cr	<0.01	0.40				
Cs	<0.01					
Cu	0.07	8.8	0.079	0.070	0.035	
Fe	4.2		4.7	4.2		3.5
I	0.01		0.011	0.010		0.010

Proces-stap:	*Begraven van lichaam*	*Crematieas*	*Onbehandelde gecryomeerde overblijfselen*	*Behandelde, gecryomeerde overblijfselen*	*Geresomeerde overblijfselen*	*Geresomeerde overblijfselen voor gevoelig-heidsanalyse*
Mn	0.01	7.3	0.011	0.010	0.005	0.010
Mo	<0.01	0.03				
Ni	0.01	1.8	0.011	0.010		0.010
Pb	0.12	0.06	0.135	0.120	0.120	0.120
Ra	<0.0001					
Sb	0	0.03	0.000	0.000		
Se	0	0.00	0.000	0.000		
Si	18		20	18	9.0	
Sn	<0.02	0.29				18
Sr	0.32		0.356	0.322	0.159	0.289
Te	0	0.00	0.000	0.000		
U	<0.0001					
V	0	0.20	0.000	0.000		
Zn	2.3	2.7	2.6	2.3	1.1	1.9
Hg	0.00041	0.0	0.000	0.000		0.00004
PCBs	0.000636		0.001	0.001		0.000636
C	16000		17965	8548		
Ca	1100		1235	1100	1100	1096
Cl	95	11	107	95	47	64
Fl	2.6	0.02	2.9	2.6	1.3	
H	1944		2183	1944	5.5	
K	140		157	140	0.000	
Mg	19		21	19	9.5	18
N	1800	13	2021	1799	0.00	846
Na	100		112	100	50	0.552
O	2556		2869	2555	1144	
P	500	2910	561	500	500	471
Fosfaten[10]		0.14				
S	140	7.2	157	140	70	98
Totaal (kg)	**24.4**	**3.0**	**27.4**	**17.0**	**2.9**	**2.6**

[10] Toelichting: zoals P_2O_5

Tabel 5 – 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[11]	0.867	kg	Orthometals (2010); een deel hiervan is afkomstig van metalen handgrepen; aanname: 50%
Titanium[12]	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 *et al.*, 2009)
Katoen	0.8	kg	Kleding; geschat getal op basis van internet
Viscose	0.15	kg	Kleding; geschat getal op basis van internet
Leer	0.36	m^2	Schoenen; Remmerswaak & Heuvel, 2005. Uitgedrukt als 1,5 kg wanneer een massagetal vereist was (geschat getal op basis van internet)

Tabel 6 - 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

[11] Roestvast staal is meegenomen als 63% primair (converter) en 37% secundair (elektrisch)
[12] Titanium mist in Ecoinvent, en daarom werd een titanium-record uit de IDEMAT-database gekopieerd en aangepast qua elektriciteit en transport naar Ecoinvent.

Tabel 7 - Recyclingswaarden. De volgende outputs en inputs zijn gehanteerd voor recycling. Een toelichting op de gevolgde methodiek is gegeven in paragraaf 4.1.5.

Materiaal	*Outputs/ vermeden producten*	*Hoeveel-heid (kg)*	*Inputs*	*Hoeveel-heid (kg)*	*Berekening/origine*
Chroom	Chroom	0.72	Secundair nikkel	0.8	Nikkel inputs als proxy. Recycling: 20% (NCMS, 2010)
Kobalt	Kobalt	0.612	Secundair nikkel	0.68	Nikkel inputs als proxy. Recycling: 32% (NCMS, 2010)
Goud	Primair goud	0.639	Secundair goud	0.71	Recycling: 29% (NCMS, 2010)
Palladium	Palladium	0.639	Secundair palladium	0.71	Goud recycling data
Platina	Platina	0.756	Secundair platina	0.84	Recycling: 16% (NMCS, 2010)
Zilver	Zilver	0.639	Secundair zilver	0.71	Goud recycling data
Roestvaststaal	converter, chromium steel	0.567	electric, chromium steel	0.63	37% recycling volgens Ecoinvent
Staal	Steel converter unalloyed	0.567	Steel electric low- and unalloyed	0.63	37% recycling volgens Ecoinvent
Titanium	Titanium12	0.61	Secundair aluminium	0.678	
Zink	Primair zink	0.657	Secundair lood	0.73	Secundair lood als proxy; 27% recycling (NMCS, 2010)

Tabel 8 - Rookgasemissies. Paragraaf 4.3 geeft hier meer uitleg over.

Emissie naar de lucht	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
CO_2, biogeen	30	g/m^3	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/Tauw (2006)
CO	19	mg/m^3	Facultatieve Technologies/Tauw (2006)
NO_x	410	mg/m^3	Facultatieve Technologies/Tauw (2006)
Dioxines (PCDD & PCDFs)	0.05	ng/m^3	Facultatieve Technologies/Tauw (2006)
Kwik	0.005	mg/m^3	Facultatieve Technologies/Tauw (2006)
Koolwaterstoffen	2	mg/m^3	Facultatieve Technologies/Tauw (2006)
Waterstofchloride	5	mg/m^3	Facultatieve Technologies/Tauw (2006)

Tabel 9 - Inputgegevens voor de berekeningen van begraven.

Materiaal/Proces	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
Lijkhoes	**22%**		**Hesselmans International (2010)**
Katoen	0.490	kg	Unigra (2010); gaf als materiaalspecificatie alleen “biologisch afbreekbaar”. Aanname: katoen.
Kist			
Spaanplaat	28.8	kg	Unigra (2010): 36 kg, marktaandeel 80%. Dichtheid: circa 700 kg/m^3 (internet).
Eikenhout	6.02	kg	Unigra (2010): 43 kg, marktaandeel 14%. Dichtheid: circa 780 kg/m^3 (internet).
Vurenhout	1.8	kg	Unigra (2010): 30 kg, marktaandeel 6%. Dichtheid: circa 580 kg/m^3 (internet).
Zaagsel	0.2	kg	Kussen, aannames.
Katoen	1.8	kg	Bekleding. Unigra (2010).
Zachthout	0.00134	m^3	Houten handgrepen; 1.1 kg (Unigra, 2010), 85% van alle kisten (Dijk & Mennen, 2002).
Roestvast staal	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	0.467	kg	Ornamenten, Orthometals (2010)
Graven			
Graven	6.25	m^3	Grafafmetingen = 1.25x2.5x1 meter (Genius Loci, 2010); open sluiten, dus x2.
Lift	**95%**		**Honor Piëteitstechniek (2010)**
Roestvast staal	0.005	kg	50 kg voornamelijk roestvast staal (internet); aanname 10,000 x gebruikt.
Recycling roestvast staal	0.005	kg	Tabel 5 en Tabel 7
Monument	**75%**		**LOB (2010)**
Natuursteen	285	kg	Dekplaat; bedekt 70% van een graf (LOB, 2010) van 120 x 250 cm; stel 5 cm dik = 0.105 m^3.
Beton	0.0335	m^3	Fundering, 80 kg (De Gedenkgroep, 2010)
Elektriciteit	1	kWh	Voor graveren (Remmerswaal & Heuvel, 2005)
Transport, vrachtauto	57	tkm	
Transport, schip	1420	tkm	
Grafrust			
Water	282	kg	Aanname: 10 m^3 per jaar.
Benzine[13]	6.1	kg	Ongeveer 300 liter à 0.72 kg/L (internet).
Graszaad	0.466	kg	
Begraven van lichaam	24.5	kg	Zie Tabel 4 en Tabel 6
Normaal afval	4.17	kg	Begraven van viscose kleding, normale metalen, edelmetalen & kunstgebit.

[13] 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; een laagzwavelige benzine kwam het dichtst in de buurt en is dus gebruikt.

Materiaal/Proces	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
Biologisch afbreekbaar afval	41.9	kg	Begraven van kist, kussen, lijkhoes, katoenen kleding, schoenen, kistbekleding en houten handgrepen.
Landgebruik	188	m^2a	10 m^2 per persoon gedeeld door gemiddeld 2 personen per graf, vermenigvuldigd met grafrusttermijn.
Verwijdering			
Graven	6.25	m^3	Open & sluiten graf
Graven	40	m^3	Open & sluiten verzamelgraf, 20 liter volume (Genius Loci, 2010); geen landgebruik omdat de berekening hierboven reeds de complete begraafplaatsoppervlakte per persoon rekent
Transport, vrachtauto	2.74	tkm	Verwijdering van steen en fundering, transport van 10 km (aanname)
Normaal afval	274	kg	Fundering + deksteen

Tabel 10 - Inputgegevens voor de berekeningen van cremeren.

Materiaal/Proces	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
Lijkhoes	**22%**		**Zelfde als voor begraven**
Kist			**Zelfde als voor begraven**
Voorbereiding			
Recycling roestvast staal	0.433	kg	Metalen handgrepen; in tegenstelling tot begraven worden ze nu wel gerecycled. Zie Tabel 5 en Tabel 7
Recycling of zink	0.467	kg	Ornamenten; in tegenstelling tot begraven worden ze nu wel gerecycled. Zie Tabel 5 en Tabel 7
Crematieproces			**Levensduur oven: 25000 crematies (Facultatieve Technologies, 2010)**
Roestvast staal	0.12	kg	3000 kg (Facultatieve Technologies, 2010 en IFZW, 2010);
Elektronische componenten	0.01	kg	250 kg (Facultatieve Technologies, 2010 en IFZW, 2010)
Bakstenen	0.4	kg	10,000 kg (Facultatieve Technologies, 2010)
Aardgas	879	MJ	25 m^3.
Eindbehandeling van machine	0.13	kg	Staal + elektronische componenten
Normaal afval	0.4	kg	Dump van bakstenen
Elektriciteit	30	kWh	IFZW (2010) en SVT (2010)
Rookgasreiniging			**Levensduur installatie = 25000x**
Water	0.08	kg	2000 liter (Facultatieve Technologies, 2010)
Ethyleenglycol	0.022	kg	500 liter glycol (Facultatieve Technologies, 2010), dichtheid 1.11 kg/L.
Roestvast staal	0.416	kg	10400 kg (Facultatieve Technologies, 2010)
Koper	0.078	kg	1950 kg (Facultatieve Technologies, 2010)

Materiaal/Proces	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
PVC	0.026	kg	650 kg andere materialen (Facultatieve Technologies, 2010);
Actieve kool[14]	0.5	kg	(Facultatieve Technologies, 2010)
Rookgasreiniging emissies	2500	m^3	Zie Tabel 8; volume = Appelman & Kok (2005)
Elektriciteit	25	kWh	Facultatieve Technologies (2010) en IFZW (2010)
Eindbehandeling van machine	0.52	kg	
Cremulator			**Levensduur cremulator = 25000x**
Roestvast staal	0.011	kg	300 kg (DFW, 2010); aanname: 275 kg staal en 25 kg electronica;
Elektronische componenten	0.001	kg	Zie boven
Elektriciteit	1	kWh	IFWZ (2010) en SVT (2010)
Eindbehandeling van machine	0.012	kg	300 kg (DFW, 2010)
Scheiding			
Recycling van metalen			Tabel 5 en Tabel 7
Normaal afval	0.018	kg	Voor kunstgebit
Asbus			
PVC	0.5	kg	Volgens Urnwinkel.nl (2010) meestal van PVC.
Normaal afval	0.5	kg	
Verstrooien boven land	**75%**		
Benzine	0.778	kg	400 liter per ha per jaar (zelfde als voor begraafplaats)
Graszaad	0.135	kg	50 kg per ha per jaar (zelfde als voor begraafplaats)
Landgebruik	2.7	m^2a	
Transport, personenauto	48	pers. km	
Bodemvervuiling door crematieas	3	kg	Zie Tabel 4 en Tabel 6

[14] Per kilogram van de geproduceerde actieve kool zijn de volgende gegevens gebruikt:

Materiaal/ Proces	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
Koolstof	*1*	*kg*	Wet van behoud van massa (geen betere gegevens beschikbaar)
Elektriciteit	0.00319	MWh	Voor productie van 1108356 kg actieve kool is 3532 MWh nodig (Lima *et al.,* 2008)
Gas	0.0142	GJ	Voor productie van 1108356 kg actieve kool is 15693 GJ nodig (Lima *et al.,* 2008)
Water	0.0325	ton	Voor productie van 1108356 kg actieve kool is 36 kton nodig (Lima *et al.,* 2008)

Materiaal/Proces	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
Verstrooien boven zee	**20%**		
Transport, personenauto	18	pers. km	Aqua Omega (2010)
Transport, schip	0.01	tkm	Aqua Omega (2010)
Zeevervuiling door crematieas	3	kg	Zie Tabel 4
Bewaren in urn	**5%**		
Keramiek	0.25	kg	2.5 kg, 10% marktaandeel (Funeral Products, 2010)
Messing	2.4	kg	3 kg, 80% marktaandeel (Funeral Products, 2010)
Glas	0.25	kg	2.5 kg, 10% marktaandeel (Funeral Products, 2010)
Normaal afval	2.9	kg	Urn weggegooid na gebruik.
Bodemvervuiling door crematieas	3	kg	Zie Tabel 4 en Tabel 5
Transport, personenauto	48	pers. km	

Tabel 11 - Inputgegevens voor de berekeningen van cryomeren. In principe komen alle data van Cryomation Ltd., tenzij anders aangegeven.

Materiaal/Proces	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
Cryomatie kleding			
Maïszetmeel	0.760	kg	
Cryomatie lijkhoes	**22%**		
Maïszetmeel	0.2	kg	
Cryomatie kist			
Karton	3	kg	Binnenkist
Maïszetmeel	0.450	kg	Lining + kussen
Buitenkist + handgrepen: zelfde als voor begraven	1/50	p	Buitenkist, 1 per 50 overledenen (aanname)
Normaal afval	0.751	kg	Kist + houten handgrepen, weggegooid eenmaal per 50 overledenen.
Recycling zink	0.00934	kg	Handgrepen, zie Tabel 7
Recycling roestvast staal	0.00867	kg	Handgrepen, zie Tabel 7
Cryomation proces			**Levensduur cryomator: 25000x**
Roestvast staal	0.4	kg	10,000 kg
PVC	0.04	kg	Plastic delen van cryomator, 1000 kg
Elektronische componenten	0.01	kg	Elektronische delen van cryomator , 250 kg
Vloeibare stikstof	80	kg	
Waterstofperoxide	2.32	kg	

Materiaal/Proces	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
Waterdamp	48	kg	
Katoen	0.02	kg	1 kg katoenen filters, vervangen na 50 cryomaties.
Eindbehandeling van machine	0.45	kg	
Normaal afval	0.018	kg	Voor kunstgebit
Recycling van metalen	Alle		Zie Tabel 5 en Tabel 7
Elektriciteit	76	kWh	
Direct begraven van onbehandelde gecryomeerde overblijfselen	**23%**		
Karton	1.19	kg	Afmetingen: 0.5 x 0.7 x 0.7 meter.
Zachthout	0.036	m^3	Houten dekplaat ipv steen; 0.9 x 2 m x 2 cm dik. Geen fundering nodig.
Water	7.53	kg	
Benzine	0.163	kg	
Graszaad	0.0497	kg	
Transport, personenauto	48	pers. km	
Graven	3.24	m^3	
Biologisch afbreekbaar afval	1.19	kg	Begraven van kist
Record: begraven van lichaam (aangepast)	24.4	kg	Zie Tabel 4 en Tabel 6
Normaal afval	18	kg	Dump van dekplaat
Landgebruik	10	m^2a	Max. 2 jaar nodig
Behandeling: versnelde decompositie	**77%**		
Roestvast staal	0.0002	kg	Installatie, 5000 x gebruikt
Water	3	kg	
CO_2 emissies (biogeen)	7.45	kg	Mineralisatie door microben
Recycling roestvast staal	0.0002	kg	Voor de installatie. Zie Tabel 7
Afvalwaterzuivering	0.003	m^3	
Begraven van behandelde gecryomeerde overblijfselen als compost	**40%**		
Keramiek	2	kg	Pot voor plant
Plant	1	EUR	
Begraven van behandelde gecryomeerde overblijfselen als compost	17	kg	Zie Tabel 4 en Tabel 6

Materiaal/Proces	*Hoeveel-heid*	*Een-heid*	*Opmerking*
Transport, personenauto	48	pers. km	
Begraven van behandelde gecryomeerde overblijfselen	**14%**		
Karton	0.595	kg	
Zachthout	0.018	kg	
Water	3.77	kg	
Benzine	0.0813	kg	
Graszaad	0.0248	kg	
Transport, personenauto	48	pers. km	
Graven	0.893	m^3	
Begraven van behandelde gecryomeerde overblijfselen	17	kg	Zie Tabel 4 en Tabel 6
Biologisch afbreekbaar afval	0.595	kg	Voor kist
Landgebruik	5	m^2a	
Normaal afval	12.6	kg	Afdanking van houten dekplaat
Verstrooien behandelde gecryomeerde overblijfselen boven land	**20%**		
Benzine	0.156	kg	
Graszaad	0.027	kg	
Landgebruik	0.541	m^2a	
Transport, personenauto	48	pers. km	
Begraven van behandelde gecryomeerde overblijfselen	17	kg	Zie Tabel 4 en Tabel 6
Verstrooien behandelde gecryomeerde overblijfselen boven zee	**3%**		
Transport, personenauto	18	pers. km	
Transport, schip	0.01	tkm	
Zeevervuiling door cryomatieas	17	kg	Zie Tabel 4 en Tabel 6

Tabel 12 - Inputgegevens voor de berekeningen van resomeren. In principe komen alle data van Resomation Ltd., tenzij anders aangegeven.

Materiaal/Proces	*Hoeveelheid*	*Eenheid*	*Opmerking*
Resomatie kleding			
Kleding	Vertrouwelijk	kg	
Resomatie lijkhoes	**100%**		
Maïszetmeel	Vertrouwelijk	kg	
Aangepast zetmeel	Vertrouwelijk	kg	
Resomatie kist			
Roestvast staal	Vertrouwelijk	kg	
Kist + handgrepen: zelfde als voor begraven	1/50	p	Buitenkist, 1 per 50 overledenen
Normaal afval	Vertrouwelijk	kg	Kist + houten handgrepen, eens per 50 overledenen afgedankt
Recycling zink	0.00934	kg	Handgrepen. Zie Tabel 7
Recycling roestvast staal	0.00867	kg	Handgrepen. Zie Tabel 7
Resomatie proces			
Roestvast staal	Vertrouwelijk	kg	
Polypropyleen	Vertrouwelijk	kg	
Koper	Vertrouwelijk	kg	
Elektronische componenten	Vertrouwelijk	kg	
Eindbehandeling van machine	Vertrouwelijk	kg	
Elektriciteit	Vertrouwelijk	kWh	
Water	Vertrouwelijk	liter	
Kalium hydroxide	Vertrouwelijk	kg	
Aardgas	Vertrouwelijk	m^3	
Behandeling van resomatieafvalwater	Vertrouwelijk	liter	
Normale afvalwaterbehandeling	Vertrouwelijk	liter	
Normaal afval	Vertrouwelijk	kg	Voor kunstgebit.
Recycling goud	0.283	g	Zie Tabel 5 en Tabel 7
Recycling zilver	0.124	g	Zie Tabel 5 en Tabel 7
Recycling palladium	0.017	g	Zie Tabel 5 en Tabel 7
Recycling platina	0.101	g	Zie Tabel 5 en Tabel 7
Hergebruik roestvaststaal	0.433	kg	Zie Tabel 5 en Tabel 7; 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	1.333	kg	Zelfde als bij roestvast staal.
Hergebruik kobaltchroom	0.533	kg	Zelfde als bij roestvast staal.
Hergebruik titanium	0.800	kg	Zelfde als bij roestvast staal.
Roestvast staal	Vertrouwelijk	kg	

Materiaal/Proces	*Hoeveelheid*	*Eenheid*	*Opmerking*
Elektronische componenten	Vertrouwelijk	kg	
Elektriciteit	Vertrouwelijk	kWh	
Eindbehandeling van machine	Vertrouwelijk	kg	
Verstrooien boven land	**25%**		
Keramiek	2	kg	Urn
Benzine	0.778	kg	
Graszaad	0.135	kg	
Landgebruik	2.7	m^2a	
Transport, personenauto	48	pers.km	
Bodemvervuiling door resomatieas	3.14	kg	Zie Tabel 4 en Tabel 6
Normaal afval	2	kg	Dump van urn
Verstrooien boven zee	**25%**		
Keramiek	2	kg	Urn
Transport, personenauto	18	pers.km	
Transport, schip	0.01	tkm	
Zeevervuiling door resomatieas	3.14	kg	Zie Tabel 4
Normaal afval	2	kg	Dump van urn
Begraven als compost	**50%**		
Karton	0.595	kg	Voor kist
Bodemvervuiling door resomatieas	3.14	kg	Zie Tabel 4 en Tabel 6
Biologisch afbreekbaar afval	0.595	kg	Voor kist
Transport, personenauto	48	pers.km	

E Resultaten uitgedrukt in schaduwprijzen

De volgende tabellen presenteren de resultaten voor alle stappen in de uitvaartprocessen, uitgedrukt in schaduwprijzen. Tabel 13 geeft de schaduwprijzen voor de verschillende effectcategorieën, per belangrijkste processtappen. Tabel 14 tot en met Tabel 17 laten zien hoe die schaduwprijzen zijn opgebouwd uit de onderdelen van de processtappen.

Tabel 13 – Schaduwprijzen in de verschillende effectcategorieën voor de belangrijkste processtappen van de uitvaarttechnieken. Niet de volledige naam, maar de afkortingen van de milieueffectcategorieën zijn gebruikt. Voor een uitleg van deze categorieën, zie Bijlage B. Uitputting van abiotische grondstoffen (ADP) is weggelaten omdat de schaduwprijs €0 is.

Processtap	**AP**	**EP**	**GWP**	**ODP**	**HTP**	**FAETP**	**TETP**	**POCP**	**LC**
Begraven									
Lijkhoes	0,11	0,04	0,14	0,00	0,09	0,03	0,01	0,00	0,24
Kist	2,17	0,75	3,18	0,00	5,54	0,84	0,12	0,08	13,44
Graven	0,10	0,05	0,17	0,00	0,20	0,00	0,00	0,01	0,00
Lift	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
Monument	2,68	0,99	4,33	0,00	3,91	0,14	0,02	0,19	0,24
Grafrust	0,19	4,86	0,89	0,00	0,25	0,01	0,00	0,03	38,20
Verwijdering	0,17	0,08	0,31	0,00	0,29	0,01	0,00	0,02	0,09
Cremeren									
Lijkhoes	0,11	0,04	0,14	0,00	0,09	0,03	0,01	0,00	0,24
Kist	2,17	0,75	3,18	0,00	5,54	0,84	0,12	0,08	13,44
Voorbereiding	-0,03	-0,05	-0,04	0,00	-0,11	-0,02	0,00	0,00	0,00
Proces	0,25	0,34	1,43	0,00	2,78	0,29	0,02	0,01	0,12
Rookgasreiniging	2,61	1,33	2,40	0,00	4,01	0,26	0,04	0,08	0,09
Behandeling van overblijfselen	-2,42	4,43	-3,12	0,00	-7,46	-1,41	-0,05	-0,05	0,18
Cryomeren									
Kleding	0,02	0,05	0,05	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,26
Lijkhoes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Kist	0,05	0,06	0,12	0,00	0,18	0,02	0,00	0,00	2,61
Proces	-1,45	-1,49	1,28	0,00	-2,30	-1,00	0,01	-0,03	0,02
Behandeling van overblijfselen	0,12	5,38	0,91	0,00	0,49	0,03	0,00	0,03	6,96
Resomeren									
Kleding	0,41	0,13	0,54	0,00	0,32	0,13	0,02	0,01	0,91
Lijkhoes	0,01	0,02	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,12
Kist	0,02	0,01	0,06	0,00	1,56	0,09	0,00	0,00	0,19
Proces	-1,92	3,50	-2,73	0,00	-9,38	-1,47	-0,06	-0,05	-0,27
Behandeling van overblijfselen	0,13	6,04	0,52	0,00	0,55	0,05	0,00	0,02	0,47

Tabel 14 – Schaduwprijzen van de onderdelen van de processtappen bij begravenIn de relevante gevallen is het aangegeven voor hoeveel procent die stap was meegeteld in de volledige uitvaartberekening.

Processtap	**Schaduwprijs per overledene (€)**
Lijkhoes (22%)	
Katoen	0,66
Kist	
Spaanplaat kist	4,16
Eikenhouten kist	4,22
Vurenhouten kist	1,70
Kussen	0,07
Lining	11,11
Houten handgrepen	0,73
Roestvast staal	3,34
Zink (ornamenten)	0,80
Graven	
Graven	0,53
Lift (95%)	
Roestvast staal	0,04
Recycling roestvast staal	0,00
Monument (75%)	
Natuursteen	8,05
Beton	0,36
Elektriciteit voor graveren	0,05
Transport, vrachtauto	1,55
Transport, schip	2,51
Grafrust	
Water	0,01
Benzine	0,69
Graszaad	0,63
Begraven van lichaam	5,41
Gewoon afval	0,01
Biologisch afval	0,00
Landgebruik	37,69
Verwijdering	
Graven, graf	0,53
Graven, verzamelgraf	0,00
Dump van fundering en steen	0,33
Transport, vrachtauto	0,10

Tabel 15 – 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	0,66
Kist	
Spaanplaat kist	4,16
Eikenhouten kist	4,22
Vurenhouten kist	1,70
Kussen	0,07
Lining	11,11
Houten handgrepen	0,73
Roestvast staal	3,34
Zink (ornamenten)	0,80
Voorbereiding	
Recycling roestvast staal	0,22
Recycling zink	-0,47
Proces	
Aardgas	0,57
Roestvast staal	0,92
Elektronische componenten	1,67
Bakstenen	0,04
Eindbehandeling van machine	0,03
Elektriciteit	2,01
Gewoon afval	0,00
Rookgasreiniging	
Water	0,00
Ethyleenglycol	0,00
Roestvast staal	3,20
Koper	0,52
PVC	0,00
Actieve kool	0,19
Rookgasreinigingemissies	5,12
Elektriciteit	1,67
Eindbehandeling van machine	0,12
Behandeling van overblijfselen	
Cremulator	0,32
Recycling staal	-0,02
Recycling roestvast staal	0,22
Recycling kobalt	-0,26
Recycling chroom	-1,20
Recycling titanium	-5,72
Recycling goud	-10,07
Recycling zilver	-0,02
Recycling palladium	-2,16

Processtap	**Schaduwprijs per overledene(€)**
Recycling platina	-0,31
Afval, kunstgebit	0,00
Asbus	0,08
As vestrooien boven land	4,76
As vestrooien boven zee	2,74
As bewaren in urn	1,76

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

Processtap	**Schaduwprijs per overledene (€)**
Kleding	
Maïszetmeel	0,43
Lijkhoes (22%)	
Maïszetmeel	0,02
Kist	
Karton	2,50
Maïszetmeel	0,25
Spaanplaten kist	0,08
Eikenhouten kist	0,08
Vurenhouten kist	0,03
Roestvast staal	0,07
Houten handgrepen	0,01
Zink	0,02
Afvalbehandeling van kist	0,00
Recycling zink	-0,01
Recycling roestvast staal	0,00
Proces	
Roestvast staal	3,08
PVC	0,01
Elektronische componenten	1,67
Vloeibare stikstof	3,51
Waterstof peroxide	1,00
Katoen	0,12
Waterdamp	0,00
Recycling goud	-10,07
Recycling zilver	-0,02
Recycling palladium	-2,16
Recycling platina	-0,31
Recycling roestvast staal	0,22
Recycling staal	-0,02
Recycling kobalt	-0,26

Processtap	**Schaduwprijs per overledene (€)**
Recycling chroom	-1,20
Recycling titanium	-5,72
Afval, kunstgebit	0,00
Elektriciteit	5,09
Eindbehandeling van machine	0,10
Behandeling van overblijfselen	
As (onbehandeld) begraven als	6,78
Asbehandeling (versnelde decompositie)	0,00
As (behandeld) begraven als compost	2,60
As (behandeld) begraven	2,65
As vestrooien boven land	1,26
As vestrooien boven zee	0,63

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

Processtap	**Schaduwprijs per overledene (€)**
Kleding	
Katoen	2,47
Lijkhoes	
Maïszetmeel	0,17
Aangepast zetmeel	0,04
Kist	
Spaanplaten kist	0,08
Eikenhouten kist	0,08
Vurenhouten kist	0,03
Roestvast staal, handgrepen	0,07
Houten handgrepen	0,01
Zink	0,02
Roestvast staal frame	1,54
Afvalbehandeling van kist	0,00
Recycling zink	-0,01
Recycling roestvast staal, handgrepen	0,00
Recycling roestvast staal, frame	0,10
Proces	
Roestvast staal	0,97
Polypropyleen	0,00
Koper	0,00
Elektronische componenten	1,67
Eindbehandeling van machine	0,04
Resomatie proces	11,43
Recycling goud	-10,07
Recycling zilver	-0,02
Recycling palladium	-2,16
Recycling platina	-0,31
Hergebruik staal	-0,21
Hergebruik kobaltchroom	-2,08
Hergebruik titanium	-8,64
Hergebruik roestvast staal	-3,00
Afval, kunstgebit	0,00
Behandeling van overblijfselen	
Processor	0,26
As vestrooien boven land	1,58
As vestrooien boven zee	3,14
As begraven als compost	2,79