

TNO-rapport**TNO 2015 R10308 (vs2.1)****Milieueffecten verschillende
uitvaartmogelijkheden****Earth, Life & Social Sciences**Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrechtwww.tno.nl

T +31 88 866 42 56

Datum	12 november 2015
Auteur(s)	Ing. B.I. Jansen, Drs. E.E. Keijzer
Aantal pagina's	89 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	5
Opdrachtgever	Natuurbegraven Nederland
Projectnaam	Milieueffecten verschillende uitvaartmogelijkheden
Projectnummer	060.12546

Alle rechten voorbehouden.

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

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2015 TNO

Samenvatting

Door de toenemende belangstelling in Nederland voor begraven in de natuur heeft Natuurbegraven Nederland aan TNO gevraagd een Levenscyclusanalyse (LCA) uit te voeren, waarbij drie bestemmingen met elkaar worden vergeleken, conventioneel begraven, cremeren en natuurbegraven. Waarbij is gekeken naar de milieueffecten ten gevolge van 'het verwerken van het stoffelijk overschot van één gemiddelde overledene in Nederland'.

Voor het opstellen van de milieuvergelijking is uitgegaan van het vaststellen van de milieueffecten van de gehele levenscyclus van de uitvoering van een uitvaarttechniek op basis van een LCA volgens de ReCiPe midpoint methodiek (H versie; v1.04). Volgens deze methodiek worden 18 milieueffectcategorieën beschouwd en de impact ervan berekend in equivalenten voor een voor die categorie belangrijke stof.

De milieu-impact is per uitvaarttechniek bepaald met behulp van de SimaPro LCA software (versie 7.3.3) 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 uitvaarttechnieken in principe slechts per effectcategorie vergeleken kunnen worden.

Voor het uitvoeren van de milieustudie zijn voor begraven en cremeren grotendeels gegevens gebruikt uit een eerder TNO onderzoek, (Keijzer, Broeke, & Ansems, 2014). Daarbij is uitgegaan van de gemiddelde situatie in Nederland en de huidige technologische stand van zaken. Voor de gegevens over natuurbegraven is de opdrachtgever gevraagd gegevens te leveren. Deze gegevens zijn gebaseerd op natuurbegraafplaats de Heidepol. Hierbij dient gezegd te worden dat deze gegevens wellicht niet voor alle natuurbegraafplaatsen representatief zijn.

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

Effectcategorie	Eenheid	Conventioneel begraven	Natuurbegraven	Cremeren
Klimaatverandering	kg CO2 eq	92	71	175
Aantasting ozonlaag	kg CFC-11 eq	8.6E-06	1.6E-06	2.1E-05
Humane toxiciteit	kg 1,4-DB eq	-6	-98	-59
Smogvorming	kg NMVOC	1.2	0.2	1.6
Fijnstofvorming	kg PM10 eq	0.26	0.07	0.34
Ioniserende straling	kg U235 eq	14	8	13
Verzuring	kg SO2 eq	0.7	0.1	0.8
Vermesting (zoetwater)	kg P eq	0.2	0.1	0.2
Vermesting (zoutwater)	kg N eq	0.3	0.1	0.5
Terrestrische ecotoxiciteit	kg 1,4-DB eq	0.16	0.15	0.18
Zoetwater ecotoxiciteit	kg 1,4-DB eq	0.3	-0.9	-0.3
Zoutwater ecotoxiciteit	kg 1,4-DB eq	0.0	-1.1	1.4
Landgebruik (landbouw)*	m2a	164	200	163
Landgebruik (stedelijk)	m2a	276	2	4
Landtransformatie (natuur)	m2	0.04	0.02	0.05
Uitputting watervoorraden	m3	11	10	10
Uitputting mineralenvoorraden	kg Fe eq	-2	-15	-2
Uitputting fossiele grondstoffen	kg oil eq	22	14	63

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

Uit de resultaten voor de drie verschillende uitvaarttechnieken blijkt dat:

- Natuurbegraven voor 16 van de 18 effectcategorieën de minste milieu-impact heeft. Alleen voor het landgebruik landbouw heeft natuurbegraven de hoogste impact.
- De uitputting van watervoorraden is voor alle categorieën ongeveer gelijk.
- Cremeren heeft voor 9 effectcategorieën de grootste milieu-impact.
- Cremeren en conventioneel begraven hebben de gedeelde laagste milieu-impact voor landgebruik landbouw.
- Cremeren en conventioneel begraven hebben de gedeelde hoogste milieu-impact voor ioniserende straling, zoetwater vermesting en uitputting van mineralenvoorraden.
- Conventioneel begraven heeft de hoogste milieu-impact in 3 effectcategorieën (humane toxiciteit zoetwater ecotoxiciteit en stedelijk landgebruik).

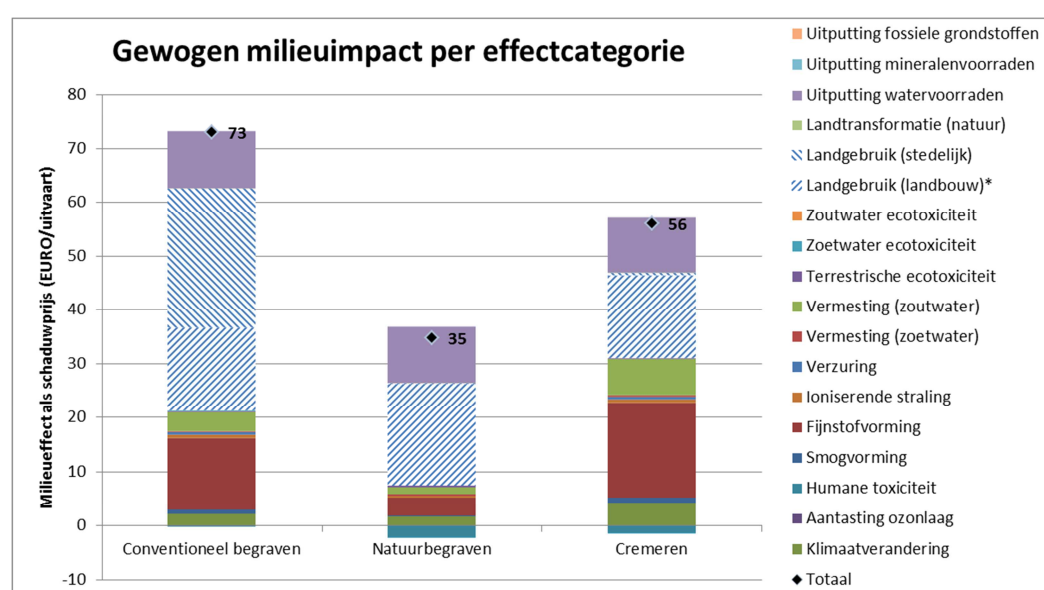
De milieuscores van de effectcategorieën, met verschillende eenheden, kunnen niet opgeteld worden tot een enkele milieuscore. Evenmin betekent een hoge score voor veel categorieën, dat de gehele milieuscore van een techniek hoger ligt dan de andere. De conclusies kunnen enkel voor iedere effectcategorie apart getrokken worden.

Om de milieu-impact van de verschillende categorieën te kunnen vergelijken is gebruik gemaakt van de schaduwrijzenmethode.

Hierbij worden de hoogst aanvaardbare kosten voor reductiemaatregelen als een waardering voor de milieueffecten gebruikt. Het voordeel van het gebruik van schaduw prijzen is dat verschillende milieueffecten worden vertaald in (externe) kosten.

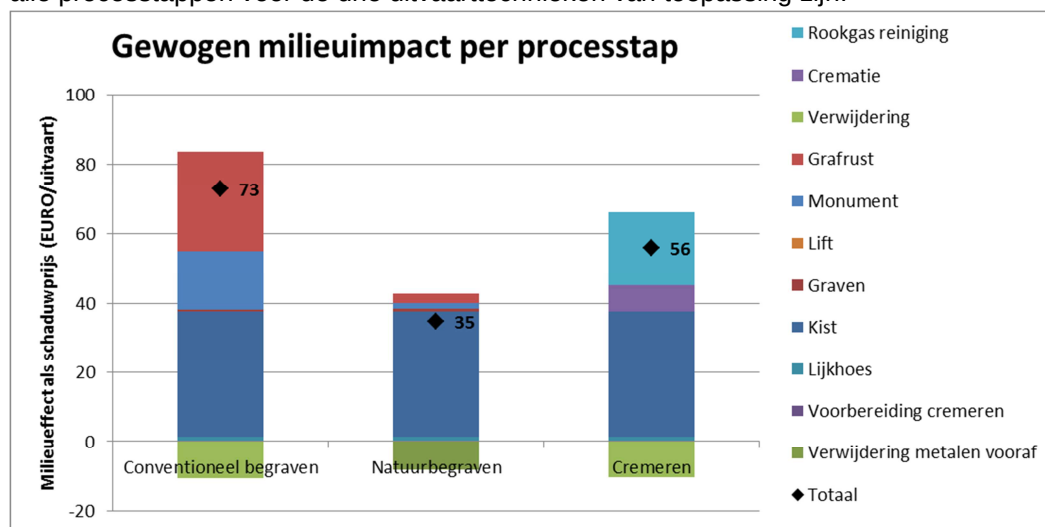
Optellen van de schaduwkosten voor alle verschillende milieueffecten van een activiteit (product of dienst) tijdens zijn levensduur geeft de totale milieukosten van de activiteit (monetarisering van milieueffecten). Hier moet bij opgemerkt worden dat de weging, in lijn met ISO 14040/14044 (ISO, 2006), een subjectieve keuze impliceert, die ter discussie kan worden gesteld. Omwille van de begrijpelijkheid van de resultaten zijn ze wel meegenomen in de bespreking van de resultaten.

Het resultaat van de berekeningen op basis van de schaduw prijzen is weergegeven in Figuur S1 voor de drie uitvaarttechnieken.



Figuur S1 Schaduw prijzen voor de bestaande uitvaarttechnieken conventioneel begraven en cremeren en natuurbegraven, weergegeven naar milieueffect. *Landgebruik is een gevoelige categorie, enkele aannames voor natuurbegraven zijn in de gevoeligheidsanalyse bekeken.

Naast de resultaten voor de verschillende milieueffecten, kunnen de resultaten ook weergegeven worden per processtap dit is weergegeven in Figuur S2, waarbij niet alle processtappen voor de drie uitvaarttechnieken van toepassing zijn.



Figuur S2 Schaduwrijzen voor de bestaande uitvaarttechnieken conventioneel begraven en cremieren en natuurbegraven, weergegeven naar processtap.

Voor het berekenen van de resultaten zijn een aantal aannames gedaan, bijvoorbeeld voor landgebruik en de terugwinning van metalen. Bij het lezen van de resultaten is het belangrijk bewust te zijn van deze aannames en de invloed op het eindresultaat. Door middel van gevoeligheidsanalyses wordt geanalyseerd hoeveel invloed deze aannames hebben op het eindresultaat. In deze studie zijn de volgende gevoeligheidsanalyses gedaan;

- 1) Recycling
- 2) Allocatie begraafplaats
- 3) Grafrustperiode
- 4) Methode voor landgebruik

Uit de gevoeligheidsanalyses blijkt;

Aannames met betrekking tot de grafrustperiode hebben grote invloed op de impactcategorie landgebruik en daarmee ook op de resultaten op schaduwkosten. In deze studie is voor de categorie landgebruik aangenomen dat maximaal één jaar schade aan de natuur optreedt. Als voor landgebruik het uitgangspunt 20 jaar grafrustperiode wordt aangenomen¹, wordt de impact van het landgebruik veel groter. Natuurbegraven heeft dan de hoogste milieu impact. In deze studie is gekozen om één jaar landgebruik te kiezen, omdat de impact op de natuur het beste weergeeft.

Tijdens dit onderzoek is naar voren gekomen dat de resultaten voor natuurbegraven zeer gevoelig zijn voor de hoeveelheid landgebruik en de periode waarin dit plaatst vind. Aangezien de schaduwrijzen geen onderscheid maken tussen verschillende soorten landgebruik, bijvoorbeeld een natuurgebied is per vierkante meter even veel waard als een stad.

¹ Als één begrafenis per dag plaats vind, zal het 20 jaar duren voordat de begraafplaats vol is, omdat de eeuwigdurende grafrust wordt gegarandeerd, kan de begraafplaats na deze periode als natuurgebied worden gezien, omdat geen begrafenissen worden gehouden

Aannames met betrekking tot de indicator die gebruikt wordt om landgebruik te analyseren hebben ook invloed op de eindresultaten. In de gevoeligheidsanalyse is de standaard indicator, gebruikt landoppervlakte, vergeleken met de indicator, verlies van organisch materiaal (SOM, loss of soil organic matter) in de bodem. Wanneer de SOM indicator wordt toegepast heeft natuurbegraven de laagste impact in de categorie landgebruik en in de eindresultaten in schaduwkosten. Cremeren heeft dan de hoogste impact.

Aannames met betrekking tot recycling percentages en de allocatie van de begraafplaats hebben geen noemenswaardige impact op de resultaten van natuurbegraven.

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

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	8
2	Doel en reikwijdte	9
2.1	Doel.....	9
2.2	Reikwijdte	9
2.3	Review	15
3	Methode	16
3.1	Life Cycle Assessment als basis om milieueffecten te vergelijken	16
3.2	Milieu-impact op basis van schaduw prijzen	18
4	Systeembeschrijving.....	20
4.1	Algemene systeemkenmerken	20
4.2	Conventioneel begraven.....	23
4.3	Cremeren.....	25
4.4	Natuurbegraven	28
5	Resultaten	30
5.1	Wijzigingen in resultaten ten opzichte van vorige studies.....	30
5.2	Milieueffecten van de drie uitvaarttechnieken	30
5.3	Gevoeligheidsanalyses.....	41
6	Conclusies.....	46
7	Referenties	48
8	Ondertekening	51
	Bijlage(n)	
	A Milieueffectcategorieën	
	B Schaduw prijzen	
	C Input voor de LCA-berekeningen	
	D Resultaten uitgedrukt in schaduw prijzen	
	E Review LCA Natuurbegraven NIBE	

1 Inleiding

In Nederland is steeds meer belangstelling gekomen voor begraven in de natuur. In een eerdere studie in 2014 heeft TNO² een studie naar de “milieueffecten van verschillende uitvaarttechnieken”. Hierbij zijn vier technieken begraven, cremen, cryomeren en resomeren, milieukundig met elkaar vergeleken. Natuurbegraven is hier niet in meegenomen. Daarom heeft Natuurbegraven Nederland³ aan TNO gevraagd een LCA uit te voeren waarbij drie bestemmingen met elkaar worden vergeleken, conventioneel begraven, cremen en natuurbegraven.

De desbetreffende LCA zal wat betreft de toegepaste LCA-methodiek en gebruikte data conform de nieuwste inzichten worden uitgevoerd. Daarbij is getracht zoveel mogelijk berekeningen uit te voeren op dezelfde wijze als in het eerdere TNO-onderzoek, omwille van de vergelijkbaarheid van de resultaten.

Vanwege de review zijn echter een aantal aspecten aangepast. Deze hebben invloed op de resultaten van cremen en (conventioneel) begraven uit de eerdere studies.

In overleg met Natuurbegraven Nederland is vastgesteld dat de eerder aangenomen gemiddelde samenstelling van een gemiddeld overleden persoon opnieuw gebruikt wordt. Daarbij wordt niet alleen gelet op de natuurlijke samenstelling, maar ook op de niet-natuurlijke toevoegingen (zoals tandvullingen, kunststof heup, schroeven in ledematen).

Wat betreft de afbakening van de te onderzoeken stappen wordt aangenomen dat voor de 3 technieken de activiteiten vóór de eindbestemming hetzelfde zijn, zoals voorbereiding, opmaken, koeling, ceremonie. Uitzondering hierop vormen de verschillen in kist en de kleding; deze verschillen zullen in de berekening van de milieu-impact worden betrokken.

² Uitgevoerd in opdracht van Yarden

³ Yarden heeft geen contractuele samenwerkingsverbanden met Natuurbegraven Nederland

2 Doel en reikwijdte

2.1 Doel

Het doel van deze studie is om drie verschillende uitvaarttechnieken te vergelijken wat betreft hun milieueffecten in alle fases van de uitvoering van deze techniek. De opdrachtgever wil de resultaten van deze vergelijking gebruiken om de mogelijkheden te onderzoeken een nieuwe uitvaarttechniek te introduceren in Nederland.

Dit rapport is primair bedoeld voor de opdrachtgever. De uitkomsten van dit onderzoek worden daarom gepresenteerd in een vorm die leesbaar is voor zowel expert als leek. Omdat de opdrachtgever van plan is om het rapport in openbaarheid te brengen, is het rapport conform gereviewd door een externe partij; het NIBE (Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie).

2.2 Reikwijdte

2.2.1 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”.**

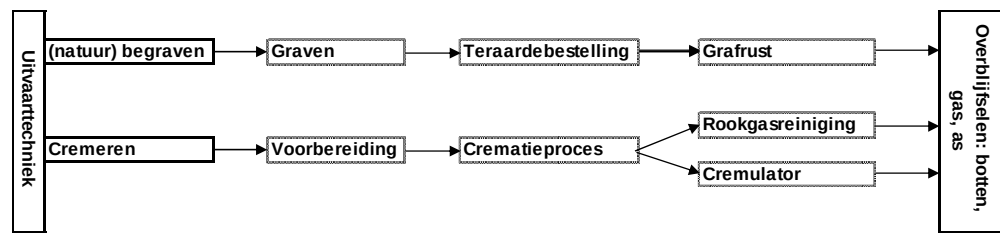
De term “gemiddelde overledene” betekent dat voor alle variabelen gemiddelde waarden zijn genomen. Denk hierbij aan lichaamsgewicht, benodigde kistgrootte, aantal protheses, tandvullingen, enzovoorts. De exacte samenstelling van dit gemiddelde is opgenomen in Bijlage C. In paragraaf 4.1 wordt dit nader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

2.2.2 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 (uitvoerend deel). Dit onderzoek richt zich op de milieueffecten van het uitvoerend deel; de voorbereidende activiteiten zijn niet meegenomen in deze studie.

De uitvaarttechnieken die vergeleken worden zijn: begraven, cremeren en natuurbegraven. Figuur 2-1 toont een schets van de voornaamste processtappen in de levenscyclus van deze technieken. De belangrijkste processtappen bij begraven zijn het graven van het graf, het laten zakken van de kist in het graf, het sluiten van het graf, de daaropvolgende periode van grafcrust en vertering, gevolgd door een uiteindelijke grafcrust. Uiteindelijk komen de overgebleven resten in een verzamelgraf terecht. Bij cremeren is het voornaamste proces de verbranding van de kist in de oven, gevolgd door reiniging van de resten, het rookgas en de asresten, gevolgd door uitstoten van het gereinigde gas in de lucht en verspreiding van de as door middel van bijvoorbeeld verstrooiing.

De techniek natuurbegraven lijkt op begraven, echter bij natuurbegraven wordt het graf niet meer geruimd, maar heerst eeuwige grafcrust. Tevens dienen niet natuurlijke materialen zoveel mogelijk vermeden te worden. Hoe de systemen van deze technieken er in meer detail uit zien, staat beschreven in hoofdstuk 4.



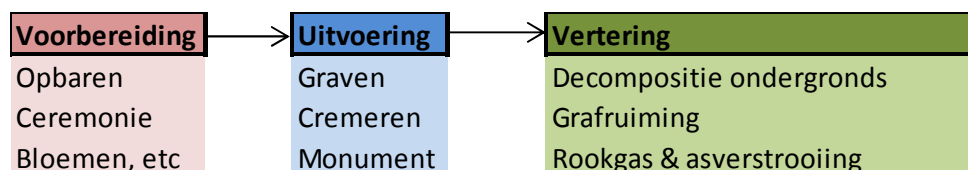
Figuur 2-1 Systeemschets met de voornaamste processtappen in de levenscyclus van de uitvaarttechnieken.

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.

2.2.3 Systeemgrenzen

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

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



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

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

Bij metalen is het qua systeemgrens van belang onderscheid te maken tussen de processen die plaatsvinden in het leven van de overledene en de processen speciaal voor de uitvaart. De productie van kunstgebitten en protheses valt bijvoorbeeld buiten de reikwijdte van dit onderzoek, omdat ze niet speciaal voor de uitvaart plaatsvinden. Het recyclen van deze materialen valt daarentegen binnen de systeemgrenzen, omdat ze een van de outputs van het uitvaartproces zijn. De processen van conventioneel begraven en natuurbegraven zijn als systeem goed vergelijkbaar, omdat het in beide gevallen gaat om een stuk land waar gedurende korte tijd een interventie plaatsvindt (graven), gevolgd door een lange periode van grafrust (vertering van het lichaam in de grond en landonderhoud). Bij cremeren is sprake van een heel ander proces, waarbij het lichaam in zeer korte tijd verteerd wordt, waarna een kleine hoeveelheid resten overblijft. Er is een aantal factoren die in beide processen een belangrijke rol spelen, zoals energiegebruik en bodemvervuiling door asverstrooiing. Bij (natuur)begraven zijn er andere belangrijke factoren, zoals het langdurige landgebruik. Om toch een goede vergelijking te kunnen maken, is ervoor gekozen om een zo breed mogelijke systeemanalyse te doen en alle deelprocessen, waar relevant, tot in detail mee te nemen.

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

2.2.4 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 achtergrond database 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 C.

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 en sierraden) 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. Als er metaal gerecycled wordt, wordt de milieu-impact van (de winning en productie van) dit materiaal afgetrokken van de totale milieubelasting van de uitvaart. Dat wil zeggen: als er 1 kilogram metaal gerecycled wordt bij een begrafenis, wordt de milieu-impact van 1 kilogram metaalproductie afgetrokken van de totale milieuscore van de begrafenis. De inspanningen die geleverd worden voor het recyclen, dat wil zeggen het transport, eventuele smeltprocessen en dergelijke, worden wel meegerekend als milieu-impacts. Het recyclingsproces is dus de combinatie van milieu-impacts (de inspanningen) en milieu-benefits (de vermeden productieprocessen).

In deze berekening is tevens rekening gehouden met het gegeven dat een deel van de metalen in de markt reeds deels bestaan uit gerecycled materiaal. Dit reeds gerecycled materiaal wordt de *secundaire fractie* genoemd. De secundaire fractie van de gebruikte metalen is bekend (zie Bijlage C). Bij het berekenen van de milieu-benefits van recycling, wordt het milieuvoordeel van vermeden productieprocessen niet toegekend aan het secundaire deel, omdat er anders dubbeltelling zou ontstaan. Hetzelfde geldt voor het recyclingsproces: dat wordt eveneens alleen berekend over de primaire fractie. Omdat de secundaire fractie wel getransporteerd en verzameld moet worden, is hiervoor in de meeste gevallen het proces voor "Iron scrap" aan gekoppeld, welke praktische informatie bevat wat betreft het transporteren en verwerken van metaal. Tot slot is er een recycling efficiëntie van 90% verondersteld, omdat zelden al het materiaal gerecycled kan worden. De netto milieubelasting van de recycling van een kilogram metaal, is dan als volgt berekend:

Milieubenefits:	primaire fractie x (vermeden) winning & productieproces x 90%
Millieuimpacts:	primaire fractie x recyclingsproces
	secundaire fractie x transport e.d. ("iron scrap")
-----+	
Totale milieu-impact	

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 recycling effecten makkelijker in de ruis van de andere resultaten, en is het recycling effect slecht zichtbaar.

2.2.5 *Life cycle impact assessment methode en interpretatie*

Voor de life cycle impact assessment is dezelfde methode gebruikt als voor de voorgaande studie. In de voorgaande studie is een state-of-the-art impact assessment methode gebruikt: de ReCiPe Midpoint H/A methode, versie 1.04 (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Struijs, & Zelm, 2009). Deze methode wordt verder toegelicht in het volgende hoofdstuk en in Bijlage A.

Naast een interpretatie van de methode per effectcategorie, zullen de resultaten tevens worden geïnterpreteerd aan de hand van de schaduw prijzenmethode, welke eveneens wordt toegelicht in het volgende hoofdstuk en in Bijlage B. De schaduw prijzenmethode is een vorm van weging, waardoor dit gedeelte van de resultaten sneller te interpreteren is voor de niet-milieukundige lezer, maar tegelijkertijd minder objectief wordt. Weging is niet conform ISO maar leidt tot een begrijpelijke presentatie van de resultaten. Dit zal nog verder worden toegelicht in de beschrijving van de methode.

2.2.6 *Data-eisen*

De procesgegevens van de drie uitvaarttechnieken (de “voorgroonddata”) zijn grotendeels afkomstig uit de praktijk, oftewel van bedrijven. Dit heeft de voorkeur boven literatuurgegevens, omdat er weinig literatuurgegevens zijn voor dit onderwerp, en deze vaak achterhaald zijn. Omdat dit onderzoek zich richt op een gemiddelde situatie, zijn voorgroonddata 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 C, de onderliggende systeemkeuzes zijn te vinden in hoofdstuk 4.

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

2.2.7 *Datakwaliteitseisen*

De benodigde kwaliteit van de gegevens betreft de volgende aspecten:

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

Hierbij wordt voor de helderheid de mogelijke verdere ontwikkeling van elk van de drie technieken buiten beschouwing gelaten. Het is niet de verwachting dat de nieuwe techniek, natuurbegraven, de komende decennia ingrijpende veranderingen zal ondergaan die de uitkomsten van dit onderzoek fundamenteel zullen beïnvloeden.

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

- d) Precisie (variatie). Uitgangspunt is een zo algemeen, gemiddeld mogelijke situatie, om een eenduidig beeld zonder al teveel ruis te kunnen geven. De huidige situatie is hierbij het referentiepunt, maar zoals in punt c) ook al uitgelegd is, is dat lastig in de praktijk te brengen en is vooral variatie op temporele schaal onvermijdelijk.
- e) Compleetheid. Er wordt geen drempelpercentage gehanteerd op basis waarvan bepaalde stromen wel of niet meegenomen worden; dit wordt per geval bekeken op basis van de verwachte bijdrage aan de milieubelasting. Als een stroom klein en lastig te kwantificeren is, en geen grote rol lijkt te spelen in de uitkomsten, is deze niet meegenomen, zoals bijvoorbeeld de urn van glas (zou slechts een klein percentage vormen van alle urntypes). Een geval dat daarentegen wel meegenomen moet worden omdat het een grote rol speelt in de milieueffectscore, zijn de kwikemissies van crematoria.
- f) Representativiteit. De gebruikte data sluiten aan bij het doel en de reikwijdte van het onderzoek.
- g) Consistentie. Waar mogelijk wordt zoveel mogelijk getracht uniformiteit van de verschillende onderdelen van het onderzoek te waarborgen. Door verschil in maturiteit tussen de drie technologieën is dit echter niet altijd mogelijk, zoals reeds uitgelegd bij c).
- h) Reproduceerbaarheid. Dit rapport biedt alle benodigde informatie over de gebruikte gegevens en gedane acties om inzicht te hebben wat er onderzocht is en hoe. Voor het reproduceren van dit onderzoek moet echter contact opgenomen worden met TNO, omdat er een model⁴ gebruikt is dat niet in dit rapport opgenomen kon worden.
- i) Databronnen. De voorgronddata zijn afkomstig uit de praktijk, dat wil zeggen, van bedrijven in de uitvaartbranche. De aangeleverde data zijn door TNO gecontroleerd voor zover mogelijk en indien nodig aangevuld met achtergronddata uit de literatuur en van TNO-experts.

⁴ 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.

- j) Onzekerheid van de informatie. Waar mogelijk zijn data vergeleken en gecontroleerd. Onzekerheden zijn in Hoofdstuk 5, 6 en Bijlage C steeds duidelijk aangegeven.

2.2.8 *Significantie*

Bij het analyseren van de resultaten is het de vraag wanneer verschillen als significant bestempeld worden, en wanneer niet. Voor alle drie de technieken is een significantiemarge verondersteld van 10%.

2.3 **Review**

Natuurbegraven Nederland heeft er voor gekozen, conform ISO 14040/14044, een onafhankelijke partij een review te laten uitvoeren. Daarbij is met name gelet op de toegepaste methodologie en de gebruikte data en worden de resultaten gecheckt. Het NIBE heeft deze review uitgevoerd. In de review zijn een aantal zaken naar voren gekomen die de resultaten uit eerdere studies veranderen. De vergelijkbaarheid is hiermee niet meer één op één toe te passen. Daarnaast is ook een wijziging in de aannames gedaan, er is nu uit gegaan van één type kist (zacht hout) in plaats van een gemiddeld profiel. De totale verandering voor cremeren als conventioneel begraven bedraagt 9 € en respectievelijk 22 € aan schaduwkosten. Deze verandering wordt veroorzaakt door de wijziging in het type kist (ongeveer 9 €). Voor conventioneel begraven is ook een fout gecorrigeerd in het stedelijk landgebruik voor de grafrust (circa 12 €). Bij cremeren is een fout gecorrigeerd waarbij het ontstane CO₂ uit de kist niet als biogeen CO₂ werd meegenomen. Aangezien de kist uit hout bestaat, is de CO₂ emissie bij verbranding biogene CO₂.

3 Methode

3.1 Life Cycle Assessment als basis om milieueffecten te vergelijken

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

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

- Winning en productie van de grondstoffen/materialen/producten voor niet-natuurlijke bestanddelen lichaam, kist, kleding, etc.
- Voorbereiding voor de werking van de beoogde eindbehandeling, zoals graven graf, in werking zetten oven, etc.
- Uitvoering van de eindbehandeling.
- Onderhoud graf (o.a. extra bloemen), oven, etc.
- Afvoer en verwerking van residuen, zoals metalen, assen, etc.
- Transporten en andere logistieke handelingen tussen de verschillende procesmatige stappen/technieken.

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

Om de LCA voor een specifieke uitvaarttechniek uit te kunnen voeren is gedetailleerde informatie (inclusief hoeveelheden) vereist met betrekking tot materiaal- en energiegebruik, handelingen (bouw, onderhoud en afbraak), transport van materialen en restproducten, gedurende de gehele levenscyclus van deze uitvaarttechniek.

Voor dit onderzoek zijn zoveel mogelijk⁵ de gegevens uit eerder TNO-onderzoek gebruikt voor zover het conventioneel begraven en cremieren betreft (Keijzer, Broeke, & Ansems, 2014). Voor natuurbegraven zijn nieuwe gegevens verzameld, TNO heeft vragenlijsten opgesteld op basis van een beschrijving van alle fases van natuurbegraven. Deze vragenlijsten is ingevuld door Natuurbegraven Nederland. Deze gegevens zijn door TNO gecontroleerd voor zover mogelijk en indien nodig aangevuld met informatie uit de literatuur en van TNO-experts.

Op basis van specifieke data heeft TNO de milieuprofielen berekend voor drie verschillende uitvaarttechnieken, met behulp van het rekenprogramma SimaPro versie 7.3.3 (Pré Consultants, 2014) en de database Ecoinvent versie 2 (Frischknecht, et al., 2007).

⁵ In het onderzoek van Keijzer, Broeke, & Ansems, 2014 is voor elke techniek een gemiddeld type kist genomen. In deze studie is uitgegaan van één type kist, die voor elke techniek gelijk is. Gekozen is voor een kist van zachthout.

De berekeningen zijn uitgevoerd met de ReCiPe Midpoint H v1.04 methode (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Struijs, & Zelm, 2009). Met deze methode de milieueffecten berekend worden voor een aantal milieueffectcategorieën in de bijbehorende eenheden per categorie (meestal in kilogrammen van een prominente vervuulende stof in die milieueffectcategorie). De methode onderscheidt de volgende milieueffectcategorieën en bijbehorende effecteenheid (Tabel 1).

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

Effectcategorie	Eenheid ReCiPe
Klimaatverandering	kg CO ₂ eq
Aantasting ozonlaag	kg CFC11 eq
Humane toxiciteit	kg 1,4-DB eq
Smogvorming	kg NMVOC
Fijnstofvorming	kg PM ₁₀ eq
Ioniserende straling	kg U ²³⁵ eq
Verzuring (terrestrisch)	kg SO ₂ eq
Vermesting – zoetwater	kg P eq
Vermesting – zoutwater	kg N eq
Terrestrische ecotoxiciteit	kg 1,4-DB eq
Zoetwater aquatische ecotoxiciteit	kg 1,4-DB eq
Zoutwater aquatische ecotoxiciteit	kg 1,4-DB eq
Landgebruik – Landbouw	m ² .jaar
Landgebruik – Stedelijk	m ² .jaar
Transformatie van Natuurlijk Land	m ²
Uitputting watervoorraden	m ³
Uitputting mineralenvoorraden	kg Fe eq
Uitputting fossiele grondstoffen	kg olie eq

In Bijlage A 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.

Op basis van de resultaten uit SimaPro kunnen de effecten van verschillende uitvaarttechnieken alleen vergeleken worden op het niveau van de effectcategorieën, omdat iedere effectcategorie een andere eenheid heeft. Op deze manier kan geen duidelijk beeld worden geschetst van het 'totale' milieueffect van de verschillende uitvaarttechnieken. Om een dergelijke vergelijking van de 'totale' milieu-impacts van de uitvaarttechnieken toch mogelijk te maken, is de schaduwrijzenmethode toegepast. Hierbij wordt een wegingsstap toegepast. De ISO-normen benadrukken dat weging een subjectieve laag toevoegt aan de resultaten; daarom mag een rapportage die een vergelijking op basis van gewogen resultaten bevat, niet openbaar gemaakt worden. Gewogen resultaten die enkel voor eigen gebruik geanalyseerd worden, zijn wel toegestaan volgens ISO 14044. Ze worden getoond in deze rapportage, omdat ze het mogelijk maken de orde grootte van de verschillende milieueffecten te begrijpen en omdat hiermee de drie technieken beter vergeleken kunnen worden.

3.2 Milieu-impact op basis van schaduw prijzen

De schaduw prijs 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 schaduw prijzenmethode 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 schaduw prijzenmethode zijn opgenomen in Bijlage B.

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

Tabel 2 Schaduw prijzen voor verschillende effectcategorieën.

Effectcategorie	Schaduw prijs ReCiPe [€/eq]	Bron prijs ReCiPe
Klimaatverandering	0,025	(Bruyn, et al., 2010)
Aantasting ozonlaag	39,1	(Bruyn, et al., 2010)
Humane toxiciteit	0,0206	(Harmelen, Korenromp, Deutekom, Ligthart, Leeuwen, & Gijlswijk, 2007)
Smogvorming	0,585	(Bruyn, et al., 2010)
Fijnstofvorming	51,5	(Bruyn, et al., 2010)
Ioniserende straling	0,0425	(Bruyn, et al., 2010)
Verzuring (terrestrisch)	0,638	(Bruyn, et al., 2010)
Vermesting (zoetwater)	1,78	(Bruyn, et al., 2010)
Vermesting (zoutwater)	12,5	(Bruyn, et al., 2010)
Terrestrische ecotoxiciteit	1,28	(Harmelen, Korenromp, Deutekom, Ligthart, Leeuwen, & Gijlswijk, 2007)
Zoetwater ecotoxiciteit	0,04	(Harmelen, Korenromp, Deutekom, Ligthart, Leeuwen, & Gijlswijk, 2007)
Zoutwater ecotoxiciteit ⁶	0	(Life Cycle Initiative, 2004)
Landgebruik (landbouw)	0,094	(Harmelen, Horssen, Jongeneel, & Ligthart, 2012)
Landgebruik (stedelijk)	0,094	(Harmelen, Horssen, Jongeneel, & Ligthart, 2012)
Landtransformatie (natuur)	0,0019	(Harmelen, Horssen, Jongeneel, & Ligthart, 2012) ⁷
Uitputting watervoorraden	1,0	(Harmelen, Horssen, Jongeneel, & Ligthart, 2012)
Uitputting mineralenvoorraden	0	(Bruyn, et al., 2010)

⁶ De Declaratie van Apeldoorn (2004) adviseert om MAETP weg te laten in assessments waar metalen een belangrijke rol spelen. Gezien het feit dat recycling van metalen een grote rol speelt in de resultaten voor de uitvaarttechnieken, wordt MAETP hier dus weggelaten (Life Cycle Initiative, 2004).

⁷ Omdat voor Landtransformatie nog geen schaduw prijs ontwikkeld is, werken wij tijdelijk met een afgeleide van de schaduw prijs voor Landgebruik. Verondersteld dat land een herstelperiode van circa 50 jaar heeft, dat wil zeggen totdat een ecosysteem zich hersteld heeft in zijn oorspronkelijke situatie. Daarom is de schaduw prijs van landtransformatie berekend als 1/50 van de schaduw prijs voor landgebruik ($0,094(€/m^2a)/50(a) = 0,0019(€/m^2)$).

Effectcategorie	Schaduwprijs ReCiPe [€/eq]	Bron prijs ReCiPe
Uitputting fossiele grondstoffen	0	(Bruyn, et al., 2010)

4 Systeembeschrijving

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

4.1 Algemene systeemkenmerken

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

4.1.1 *Samenstelling van het lichaam en de overblijfselen*

De samenstelling van het menselijk lichaam, en diens gevolge ook de samenstelling van de overblijfselen na de uitvaart, komen terug in de berekening van alle uitvaarttechnieken, en worden daarom hier apart besproken. Als basis voor de berekeningen is het onderzoek van Forbes (Forbes, 1987) gebruikt dat, ondanks het feit dat het ruim twintig jaar oud is op moment van schrijven, een van de meest complete en gerefereerde onderzoeken is op dit gebied⁸. Twee missende elementen zijn toegevoegd; kwik (Slooff, Beelen, Annema, & Janus, 1994) en PCB's (Axelrad, Goodman, & Woodruff, 2009) en PCDD's/PCDF's (achtergrondgegevens over dioxines van de WHO (WHO, 1998)). Voor onduidelijke waarden (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:

$$[\text{berekend drooggewicht (mg)}] = [\text{elementconcentratie (mg/kg)}] \times 1.000.000 / [\text{som van elementconcentraties}^9 \text{ (mg)}].$$

De samenstelling van crematieas vertoont enkele verschillen met de lichaamssamenstelling. Desalniettemin is er gekozen om het analyserapport van Smit (Smit, 1996) te gebruiken voor de berekeningen, omdat het van de weinige analyserapporten van crematieas het meest complete is. Voor kwik is een aanpassing gemaakt, omdat Smit 2,47 gram kwik toevoegde voor deze metingen om het effect te zien, terwijl gemiddeld een crematie slechts 1,5 gram bevat (Molenaar & al., 2009).

⁸ Helaas zijn er geen recentere gegevens geleverd of gevonden, en daarom zijn dezelfde gegevens weer gebruikt. Hoewel meer recente gegevens een interessante toevoeging zouden zijn aan het onderzoek, bijvoorbeeld om de invloed van toename in overgewicht van de gemiddelde Nederlander op de uitvaartprocessen te bepalen, is de invloed op de resultaten waarschijnlijk acceptabel laag. De afgelopen 20 jaar is de gemiddelde man in Nederland bijna 6 en de gemiddelde vrouw bijna 4 kilogram zwaarder geworden (Wobma & Bruggink, 2012). Met een gemiddeld lichaamsgewicht in 2011 van 84 kg voor mannen en 70 kg voor vrouwen, vertonen de gebruikte bronnen een afwijking van circa 10% (70 kg i.p.v. 77 kg gemiddeld).

⁹ 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 6* in Bijlage C. 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 pacemakers¹⁰, maar ook borstimplantaten en artificiële hartkleppen. Een “gemiddelde” overledene zou dus een scala aan materialen bevatten, maar door al deze materialen mee te nemen worden de resultaten minder scherp, en duidelijkheid was juist een van de doelen van dit onderzoek. Daarom zijn slechts twee zaken meegenomen: de metalen, omdat deze een grote en onderscheidende invloed hebben op de resultaten en omdat er betrouwbare, empirische gegevens van beschikbaar zijn, en, als proxy voor niet-metalen, een kunstgebit, omdat deze door een groot deel van de overledenen wordt gedragen (CBS, 2003).

Een ander punt van discussie is het effect van medicijnen in het menselijk lichaam, zoals pijnstillers en chemotherapeutische middelen. Deze laatste worden verondersteld om snel te verdwijnen uit het lichaam en daardoor geen effect te hebben bij welke uitvaarttechniek dan ook (Molenaar & al., 2009).

Geneesmiddelen worden verondersteld uiteen te vallen bij de hoge temperaturen van de crematie. Bovendien, Molenaar *et al.* concluderen dat er geen noodzaak is om de medicijnen als chemisch afval te beschouwen, dus is er geen reden om er rekening mee te houden bij begraven.

Tabel 7 in Bijlage C 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. Met het uniformeren van de kist, zodat deze voldoet aan de eisen van natuurbegraven, worden er geen metalen meer gebruikt voor ornamenten en handgrepen, maar zijn deze geheel van hout. 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 natuurbegraven is het facultatief om het lichaam te omhullen door een lijkhoes van biologisch afbreekbare materialen; dit gebeurt in circa 22% van de gevallen (Hesselmans International, 2010).

De wet op de lijkbezorging schrijft voor dat het lichaam omhuld wordt door een kist of een ander geschikt omhulsel. Dit kan niet alleen een kist zijn, maar ook bijvoorbeeld een plank met een lijkwade. Binnen deze studie is echter uitgegaan van een zachthouten kist, aangezien deze het meest gebruikt wordt (als spaanplaat niet meegenomen wordt vanwege de milieu hygiënische eisen die gesteld worden bij natuurbegraven). Voor de massiefhouten kist is een zachthouten kist van 30 kg gebruikt, dit op basis van informatie van Unigra (Unigra, 2010).

¹⁰ Pacemakers worden voorafgaand aan een crematie verwijderd uit het lichaam en gaan dus niet de oven in.

Voor de bekleding van de kist is uitgegaan van gegevens van Unigra (Unigra, 2010), aangevuld met een eigen aanname over het hoofdkussen. Uit Dijk & Mennen (Dijk & Mennen, 2002) was bekend dat 85% van de kisten houten handgrepen heeft en Unigra liet het gewicht ervan weten. Deze fractie is bijgesteld naar 100%, aangezien er bij natuurbegraven geen metalen op de kist gewenst zijn.

4.1.4 *Modellering van begraven van overblijfselen*

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

Het berekenen van de milieueffecten van uitvaarten met de aanname dat de begraafplaats een gebruikelijke stortplaats is, is dus niet voldoende. Daarom is een stortplaatsmodel (uitgelegd in (Eggels & Ven, 2000)) aangepast naar deze specifieke situatie.

In dit model kan de lichaamssamenstelling eenvoudig worden ingevoerd in de vorm van de elementen, waarna het model de emissies naar bodem en water berekent.

Een aantal aanpassingen zijn gemaakt:

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

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

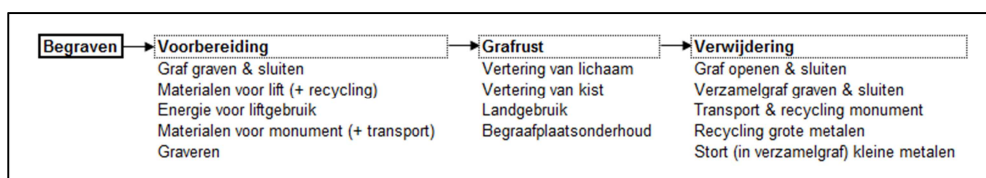
4.1.5 Recycling van metalen

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

4.2 Conventioneel begraven

Bij conventioneel 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 4-1 en worden vervolgens toegelicht. De specifieke getallen die zijn gehanteerd voor de LCA-berekeningen, zijn weergegeven in Tabel 11 in Bijlage C.



Figuur 4-1 Schematisch overzicht van het conventionele 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. De LOB (2014) stelt dat de diepte van een enkel graf $0,65 + 0,35 = 1$ meter diep is en een dubbeldiepgraf $0,65 + 0,35 + 0,30 + 0,35 = 1,65$ meter diep¹¹. Bovendien ligt in een particulier graf gemiddeld 1,5 personen begraven en in een algemeen graf 2,5 personen (LOB, 2014). Dit betekent een gemiddelde graafdiepte van 0,83 meter per persoon voor particuliere graven en 0,79 meter voor algemene graven¹². Omdat deze dieptes amper verschillen en om de berekeningen niet onnodig ingewikkeld te maken zullen we in de berekeningen geen onderscheid maken tussen de verschillende graftypes en in beide gevallen met een gemiddelde graafdiepte per persoon van 0,8m rekenen.

De oppervlakte van een graf is ongeveer 1,25 bij 2,5 meter (Genius Loci, 2010). De LOB (LOB, 2014) voegt hieraan toe dat de oppervlakte van het graf anders is dan de gegraven kuil; de oppervlakte van de kuil is ongeveer 1,00 bij 2,30 meter. De kist kan men laten zakken door middel van een lift of met de hand; in 88,5% van de gevallen wordt tegenwoordig een lift gebruikt (Yarden, 2014). Na het laten zakken van de kist wordt het graf weer gevuld, voor het grootste deel mechanisch met de shovel. Meestal wordt het graf niet direct afgedekt met een grafmonument, maar eerst met een tijdelijk monument, maar dat wordt in deze studie niet in beschouwing genomen.

¹¹ Voor een graf met 3 personen is de volgende diepte verondersteld, $1,65 + 0,30 + 0,35 = 2,3$ m.

¹² Als een graf 50% van de tijd 2,3 m diep is en 50% 1,65 m, dan is het gemiddeld 1,975 m diep voor 2,5 persoon, wat betekent 0,79 m per persoon.

Na ongeveer vier maanden kan het definitieve grafmonument worden geplaatst; in de LOB schat in dat dit in 66% van de gevallen gebeurt. 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 (schatting LOB (2014): 50%). Volgens Yarden bedekt een steen meestal zo'n 67% van het graf (Yarden, 2014). De LOB stelde dit later bij naar een schatting van 40x60 cm, hetgeen veel kleiner is dan de schatting van Yarden. Voor de berekeningen zullen we uitgaan van het worst-case scenario, dat wil zeggen de hoeveelheid die Yarden op gaf. Als we dan aannemen dat de steen ongeveer 5 cm dik is, kan het gewicht van de steen geraamd worden.

Deze steen moet over een lange afstand getransporteerd worden, aangezien de natuursteen veelal uit het buitenland afkomstig is. Wat de gemiddelde afstand is die een steen moet afleggen is niet bekend. De LOB stelt dat de steen voor een belangrijk deel uit België, Portugal en Italië komt en dat vervoer per schip daarbij niet aan de orde is (LOB, 2014). De gemiddelde afstand tot deze landen (200, 2000 en 1600 km) is circa 1267 km. Deze steen ondergaat vaak ook nog een bepaalde behandeling zoals polijsten en graveren.

Tijdens de daaropvolgende periode van grafcrust kunnen het lichaam en de kist ongestoord ontbinden. De wet schrijft een vaste periode van grafcrust 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. Voor deze studie zijn recente onderzoeksgegevens (2012) van de LOB gebruikt, die samen circa 80% van de begravingen in Nederland representeren, en stellen dat 33% wordt begraven in een algemeen graf en 66,7% in een particulier graf. Daarnaast gaf Yarden gedetailleerde cijfers over de gemiddelde grafcrust; 14 jaar voor een algemeen en 34 jaar voor een particulier graf (Yarden, 2014). Dit geeft een gemiddelde grafcrust van 27,3 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 de bodem, 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 het vrijkomen van stikstof en fosfor.

De complicatie bij het kwantificeren van deze problemen is dat ze vaak zeer lokaal van aard zijn en dat er zeer weinig wetenschappelijk onderbouwde informatie over beschikbaar is¹³.

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).

¹³ Illustratief voor het informatietekort is het feit dat in veel publicaties van na 2000 nog steeds vaak een bron uit 1951 aangehaald wordt (Haaren, 1951). Dent (2002) heeft een buitengewoon uitgebreid proefschrift geschreven over het onderwerp, maar is hier een uitzondering in (Dent, 2002).

Voor de berekeningen van het onderhoud en het landgebruik was het nodig om de gemiddeld gebruikte oppervlakte per persoon te weten. Dit is berekend door de gegevens voor de gemiddelde oppervlakte van begraafplaatsen (8,75 ha) te delen door het gemiddeld aantal personen die op een begraafplaats liggen (8637 personen); dit levert een gemiddelde oppervlakte per persoon op van 10 m² (Yarden, 2014). Hier zit dus zowel landgebruik voor het graf in, als voor het verzamelgraf, groenvoorziening en paden. De informatie wat betreft het (natuur)onderhoud van een begraafplaats, waaronder maaien en dergelijke, is voor deze studie geleverd door Yarden (zie Tabel 11 in Bijlage C).

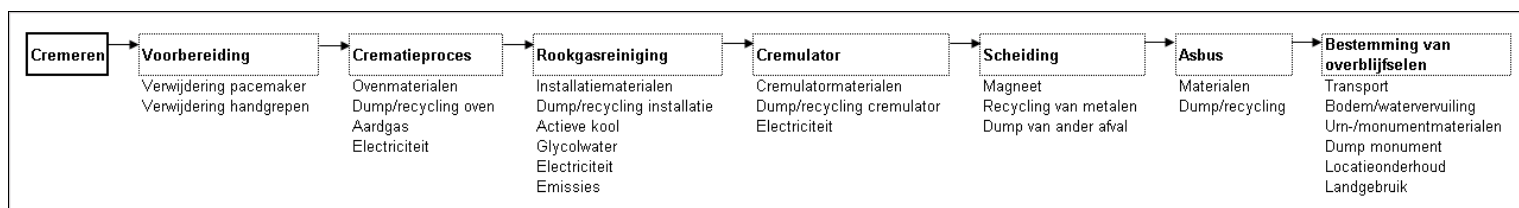
Op een bepaald moment na de grafrustperiode wordt het graf geruimd. In de voorgaande studie werd verondersteld dat alle overblijfselen, zowel de beenderen als de niet-menselijke resten van bijvoorbeeld protheses en de kist, terecht komen in een verzamelgraf op de begraafplaats. Deze informatie is als volgt genuanceerd en geactualiseerd naar de huidige praktijken door de LOB (LOB, 2014). De algemene graven worden vaak met meerdere tegelijk geruimd door middel van een shovel. De beenderen worden herbegraven in een verzamelgraf, in het verleden ook wel knekelput genoemd. De niet-menselijke materialen die hier nog tussen zitten, worden in circa de helft van de gevallen gescheiden en naar de gemeentelijke afvalverwerking gebracht, waar metalen gerecycled kunnen worden. In de andere helft van de gevallen vind geen scheiding plaats en worden alle resten begraven in het verzamelgraf. Bij particuliere graven vind vaak een mindere mate van scheiding plaats. Een verouderd doch illustratief voorbeeld hiervan is uitvaartadviseur Mr. W. van der Putten die in de vraag-en-antwoord-rubriek van Uitvaart.nl stelt dat het geen gebruik is om kleine voorwerpen zoals bijvoorbeeld (gouden) kiezen te zoeken tussen de opgegraven overblijfselen (Putten, 1998). In de berekeningen zal daarom meegenomen worden:

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

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

4.3 Cremeren

Cremeren is de verbranding van het lichaam in een crematorium. De verschillende stappen voor een gemiddelde crematie zijn weergegeven in Figuur 4-2 en worden vervolgens toegelicht. De specifieke getallen die zijn gehanteerd voor de LCA-berekeningen, zijn weergegeven in Tabel 12, Bijlage C. Hieronder is de beschrijving van het gehele proces nader toegelicht.



Figuur 4-2 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).

Er zijn twee oventypes in gebruik in Nederland: warme (70% van het totaal) en koude (30%) startovens. De warme startoven wordt voorverwarmd tot 800 °C, de koude tot 400 °C. In de Nederlandse crematoria worden beide types verwarmd door aardgas. Omdat warme startovens de meerderheid vertegenwoordigen, hanteert deze studie enkel de procesgegevens van de warme startoven. De invloed van de variatie in het gasverbruik per crematie op de totale milieu-impact wordt meegenomen in een gevoeligheidsanalyse. Een oven wordt grotendeels gemaakt van roestvaststaal en elektronische componenten en gaat gemiddeld ongeveer 25.000 keer mee.

De crematie zelf start zodra de kist de oven binnengaat. De crematie duurt ongeveer 75 minuten in een warme startoven. Moderne crematies worden gecontroleerd door een computersysteem. Bij de dataverzameling voor het TNO-onderzoek in 2011 (Keijzer & Kok, 2011) werden er zeer verschillende waarden opgegeven voor het gemiddelde gasverbruik per crematie, variërend van 15 m³ tot 45 m³; het gemiddelde was ongeveer 25 m³, hetgeen ondersteund werd door meerdere informele bronnen op internet. Bij de vervolgstudie in 2014 (Keijzer, Broeke, & Ansems, 2014) heeft Yarden het echter nogmaals nagevraagd bij zijn toeleveranciers, en die meldden dat 25 m³ realistisch is bij een groot aantal crematies per dag, maar dat bij minder crematies 50 à 70 m³ realistischer is (Yarden, 2014). Als gemiddelde zullen we 50 m³ meenemen in de berekeningen. Een bijproduct van de crematie is rookgas, dat gereinigd dient te worden, voordat het de open lucht in gaat. Het rookgas kan op meerdere manieren gereinigd worden, maar voor dit onderzoek wordt een reinigingssysteem aangenomen dat bestaat uit een ventilator, injectie met actieve kool en een stoffilter.

De installatie bestaat uit roestvaststaal, koper en andere materialen; voor de eenvoud is die laatste categorie samengevat als PVC.

Hoe lang de reinigingsinstallatie meegaat was niet bekend, aangenomen is dat dit ongeveer even lang is als de oven zelf. Het meenemen van actieve kool in de berekeningen is bij gebrek aan literatuurgegevens door TNO gemodelleerd op basis van de productiekosten van actieve kool (Lima, McAloon, & Boateng, 2008) en materiaalbenodigdheden 1 kilo koolstof per geproduceerde kilo actieve kool.

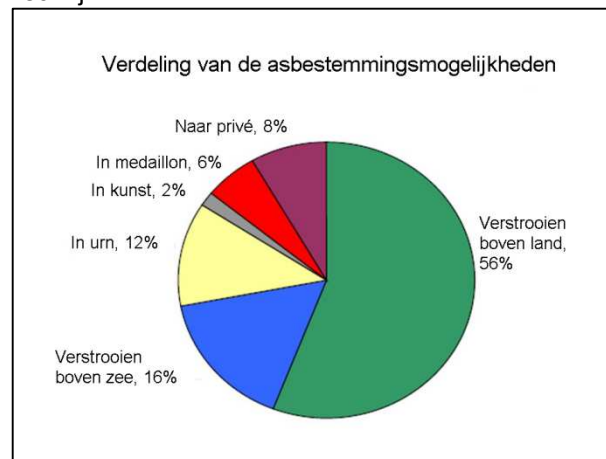
De stoffen die uit het gas gefilterd worden, worden behandeld als gevaarlijk afval. Door de hoge concentraties schadelijke stoffen en de uitloogbaarheid daarvan wordt dit afval onder speciale condities opgeslagen op stortplaatsen. Zo wordt (voorlopig) sterk verhinderd dat de stoffen in het milieu terecht komen.

De na de rookgasreiniging resterende emissies zijn gemodelleerd op basis van een rapport door Tauw (Tauw, 2006). De CO₂-emissies zijn apart berekend. Welch & Swerdlow (Welch & Swerdlow, 2009), naar diverse bronnen) stelden vast dat het lichaam en kist samen ongeveer 100 kg CO₂ uitstoten (met uitzondering van de CO₂-uitstoot van het gas). Hierbij wordt verondersteld dat alle CO₂ emissie als biogene CO₂ beschouwd mag worden. De CO₂-emissies van het gas zijn reeds meegerekend bij de gasverbranding.

Na de crematie blijven er menselijk as en andere resten over. De kunststoffen zijn volledig verbrand.

Aangenomen is dat de scheiding van deze resten een beperkte hoeveelheid energie of materialen kost, omdat het grotendeels met de hand, een zeef of een magneet gebeurt. De menselijke resten worden vermalen in een cremulator en toegevoegd aan de overige menselijke as. De andere delen die overblijven worden verzameld en gerecycled door twee gespecialiseerde bedrijven.

De menselijke as gaat in een asbus en wordt gedurende de wettelijke termijn van 1 maand in een crematorium bewaard. De asbestemmingsmogelijkheden daarna zijn talrijk. De meest voorkomende opties zijn weergegeven in Figuur 4-3. De drie belangrijkste zijn meegenomen in de berekeningen. De aangenomen ratio tussen deze drie bestemmingen is geschat op basis van de getallen uit onderstaande figuur (bijv. bij "naar privé" is aangenomen dat dit waarschijnlijk boven land verstrooid wordt, en dus bij die categorie opgeteld). De uiteindelijke ratio die aangenomen is, betreft 75% verstrooien boven land, 20% boven zee en 5% bewaring in een urn. Deze ratio is onderwerp geweest van een gevoeligheidsanalyse in eerder TNO-onderzoek (Keijzer & Kok, 2011) en daaruit bleek dat de exacte ratio niet veel verschil maakte; de belangrijkste aanname die de resultaten beïnvloedde, was het veronderstelde materiaal waarvan de urn gemaakt zou zijn.



Figuur 4-3 Verdeling van de asbestemmingsmogelijkheden, in procenten. Bron: jaarcijfers van Yarden voor het jaar 2000, gepubliceerd in (Dijk & Mennen, 2002).

Bij verstrooien boven land is aangenomen dat dit boven een strooiveld gebeurt. Verstrooiing op andere plaatsen mag wel van de wet, maar dan is er toestemming nodig van de landeigenaar.

Het landgebruik en de daarbij horende onderhoudskosten per persoon zijn berekend aan de hand van het aantal personen dat per jaar op een veld verstrooid wordt. Hier zijn amper gegevens van (Dijk & Mennen, 2002). Daarom is de richtlijn gebruikt om hier een getal voor te bepalen. Het maximum aantal verstrooiingen per strooiveld, zonder extra maatregelen, is 370 verstrooiingen per hectare per jaar (Ministerie van VROM, 2004).

Omdat ieder jaar opnieuw nieuwe overledenen verstrooid kunnen worden op hetzelfde veld, is er geen meerjarige telling; per overledene wordt er dus 1 jaar strooiveldonderhoud gerekend.

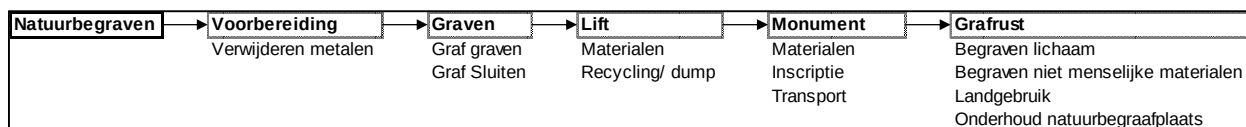
Bij de laatste optie, bewaren in een urn, is aangenomen dat er een speciale urn gemaakt en gekocht wordt; hierbij zijn, de drie meest voorkomende urntypes in beschouwing genomen. Voor de eenvoud is aangenomen dat de meerderheid van de nabestaanden kiest om de urn thuis te bewaren, en niet in een graf of urnenmuur. In beide gevallen is de milieu-impact waarschijnlijk ongeveer gelijk, omdat er slechts twee relevante processen zijn.

Ten eerste is er transport van personen van en naar het crematorium, om de as op te halen dan wel bij te zetten. Ten tweede is er een kleine hoeveelheid ruimte nodig, die vele malen kleiner is dan een graf en de aangrenzende ruimtes die nodig zijn voor paden en dergelijke¹⁴. In beide gevallen komt de as uiteindelijk, na meerdere jaren in de urn, alsnog in de bodem terecht omdat het waarschijnlijk ergens uitgestrooid wordt¹⁵; hiervoor zijn dezelfde milieueffecten gerekend als bij verstrooien boven land.

Zowel voor verstrooien boven land als voor bewaren in een urn dienen nabestaanden heen en terug naar het crematorium te rijden om de asbus op te halen en het ergens te verstrooien. Er is verondersteld dat twee personen de as ophalen en wegbrengen en daar gemiddeld 30 kilometer voor moeten rijden¹⁶. Voor de berekeningen van verstrooiingen boven zee zijn gegevens van Aqua Omega gebruikt (Aqua Omega, 2010). Zij halen allereerst de as op bij de crematoria en rijden jaarlijks circa 45.000 kilometer om de as van 2500 overledenen op te halen; op basis hiervan zijn de autokilometers per overledene berekend. De meeste verstrooiingen zijn per schip en voor de crematoria, dus zonder familie. Verstrooiingen per vliegtuig of met veel mensen zijn daarom buiten beschouwing gelaten. De schepen varen ongeveer elke 6 weken uit, hetgeen een gemiddelde van 300 asbussen per reis betekent. De schepen varen 10 km. De invloed van de as op het zeewater is berekend door aan te nemen dat de crematieas direct in de oceaan terecht komt.

4.4 Natuurbegraven

Bij natuurbegraven is het proces vergelijkbaar met conventioneel begraven. De grote lijnen zullen hieronder beschreven worden, waarbij dieper ingegaan zal worden op de verschillen met regulier begraven. In Figuur 4-4 worden de verschillende stappen van natuurbegraven schematisch weergegeven.



Figuur 4-4 Schematisch overzicht van het proces bij natuurbegraven.

Bij de voorbereiding van natuurbegraven worden de uitwendige metalen verwijderd. Er is bekend hoeveel metalen er mee gaan in de kist bij een crematie, maar er is niet bekend welk gedeelte hiervan uitwendige protheses en sieraden zijn, en wel gedeelte inwendig is.

¹⁴ Deze bewering is nader gestaafd bij de evaluatie van de resultaten en de toelichting op de hoeveelheid landgebruik voor een begraven persoon. Voor een graf en alles er om heen is gemiddeld circa 10 m² per persoon nodig, terwijl een urn in een urnenmuur slechts circa 0,5 m² nodig heeft.

¹⁵ Dit gaat niet op voor het geval de as na een bepaald aantal jaren alsnog boven zee wordt verstrooid, maar deze mogelijkheid is hier genegeerd, omdat het slechts een kleine fractie zou zijn, gezien het totaal aantal verstrooiingen boven zee.

¹⁶ De gemiddelde afstand tussen een volwassen kind (van 26 tot 50 jaar) en de ouders bedroeg hemelsbreed bijna 27 kilometer in 2002/2003 (Michielin & Mulder, 2007) volgens (Kullberg, 2010)). We nemen aan dat deze afstand representatief is voor de afstand van crematorium (dikwijls in de buurt van de overledene) tot de nabestaande die de as zal verstrooien (vaak een naast familielid, zoals een kind). Voor de zekerheid ronden we de hemelsbrede 27 km naar boven af tot 30 km.

Daarom is de inschatting gemaakt dat de meeste edelmetalen uitwendig zitten (als sieraden) en dus 100% verwijderd worden, terwijl de verwachting is dat de overige metalen veelal inwendig aanwezig zijn en dus niet verwijderd worden. Dit is de worst-case schatting; in de gevoeligheidsanalyses zal hier verder op in gegaan worden.

Het graven van de grafkuil wordt verondersteld op dezelfde wijze gedaan te worden als bij conventioneel begraven. De grootte van het graf is bij natuurbegraven anders dan bij conventioneel begraven, namelijk 2,5 m bij 1 m en 1,2 m diep.

Voor de lift is door Natuurbegraven Nederland aangegeven dat deze in ongeveer 10% van de gevallen gebruikt wordt. De overige aannames voor de lift zijn gelijk aan die van conventioneel begraven.

Bij natuurbegraven wordt alleen een vergankelijk monument geplaatst. Dit is een lokaal geproduceerde boomschijf waarbij een tekst uitgefreesd wordt. Deze boomschijf is circa 35 cm (30-40 cm) in diameter en 7 cm dik. Voor het frezen wordt 1,6 kWh gebruikt (20kW apparaat, 5 minuten).

De natuurbegraafplaats heeft een oppervlakte van 17 ha en is geschikt om 7250 lichamen te begraven. Dit komt neer op een gemiddelde oppervlakte van 23,4 m² per graf, indien de functie van het gebruikte land volledig aan het begraven wordt toegekend. Er kan over gediscussieerd worden of het gebruikte land inderdaad volledig aan begraven toegekend dient te worden; een argument hiervoor is dat mensen wellicht niet graag over een begraafplaats, strooiveld of dergelijke willen lopen en dat het dus 100% begraafplaats is; een argument hiertegen is dat er slechts op een klein gedeelte van de begraafplaats (ongeveer) dagelijks een begrafenis plaatsvindt, hetgeen betekent dat het land voor een lager percentage als begraafplaats beschouwd moet worden, en voor de rest als natuurgebied. In de basisberekeningen zijn wij dus uitgegaan van het worstcase scenario (100% begraafplaats); in de gevoeligheidsanalyse wordt hier verder op in gegaan. Volgens Natuurbegraven Nederland is het de verwachting dat de begraafplaats binnen 20 tot 30 jaar volledig bezet is. Er is tevens berekend hoe lang het zou duren om de natuurbegraafplaats volledig bezet te krijgen indien uitgegaan wordt van één begrafenis per dag. Met een capaciteit van 7250 uitvaarten voor deze begraafplaats komt dit neer op ongeveer 19 jaar en 10 maanden.

In de protocollen van natuurbegraven (Thomassen, van Os, & Jaspers, 2012) staat vermeld dat er voorzichtig met de natuur omgegaan wordt. Op basis hiervan zou de versterking van de natuur minimaal zijn, een eerste benadering hiervoor is één jaar. Deze periode wordt dan ook gebruikt voor het basisscenario.

Ook hierbij is nuancering op zijn plaats; er valt zowel wat te zeggen voor een kortere grafrusttermijn (bijvoorbeeld alleen de dag van de begrafenis zelf, want daarna is het land weer gewoon natuur) als ook voor een langere grafrusttermijn (want de stichting Natuurbegraven beheert de begraafplaats voor een oneindige periode, waarin het land bijvoorbeeld niet gebruikt kan worden om de bevolking te voeden of huisvesten). De gevoeligheidsanalyse gaat ook op dit onderwerp verder in.

De natuurbegraafplaats heeft een onderhoudsregime dat minder intensief is dan bij een conventionele begraafplaats. Er wordt gebruik gemaakt van machines (kettingzagen, bladblazers e.d.) die in totaal 60 liter brandstof verbruiken per jaar. Dit verbruik is berekend op basis van het gebruik van een kettingzaag gedurende 30 uur per jaar, met een verbruik van circa 2 liter brandstof per uur.

5 Resultaten

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

5.1 Wijzigingen in resultaten ten opzichte van vorige studies

In voorgaande studies ((Keijzer & Kok, 2011) en (Keijzer, Broeke, & Ansems, 2014)) zijn reeds de resultaten van cremieren en (conventioneel) begraven besproken. Naar aanleiding van deze studie heeft een review plaats gevonden. Deze heeft een aantal zaken aan het licht gebracht (zie hiervoor de review in de bijlage) welke invloed hebben op de resultaten van de eerdere onderzoeken. Door deze wijzigingen door te voeren, zijn de resultaten niet één op één meer vergelijkbaar.

Tevens is in deze studie besloten om voor alle drie de uitvaarttechnieken één type kist te gebruiken, in plaats van een gewogen bijdrage van verschillende typen kisten.

5.2 Milieueffecten van de drie uitvaarttechnieken

5.2.1 *De milieueffecten en zwaartepunten per effectcategorie*

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

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

Effectcategorie	Eenheid	Conventioneel begraven	Natuurbegraven	Cremeren
Klimaatverandering	kg CO2 eq	92	71	175
Aantasting ozonlaag	kg CFC-11 eq	8.6E-06	1.6E-06	2.1E-05
Humane toxiciteit	kg 1,4-DB eq	-6	-98	-59
Smogvorming	kg NMVOC	1.2	0.2	1.6
Fijnstofvorming	kg PM10 eq	0.26	0.07	0.34
Ioniserende straling	kg U235 eq	14	8	13
Verzuring	kg SO2 eq	0.7	0.1	0.8
Vermesting (zoetwater)	kg P eq	0.2	0.1	0.2
Vermesting (zoutwater)	kg N eq	0.3	0.1	0.5
Terrestrische ecotoxiciteit	kg 1,4-DB eq	0.16	0.15	0.18
Zoetwater ecotoxiciteit	kg 1,4-DB eq	0.3	-0.9	-0.3
Zoutwater ecotoxiciteit	kg 1,4-DB eq	0.0	-1.1	1.4
Landgebruik (landbouw)	m2a	164	200	163
Landgebruik (stedelijk)	m2a	276	2	4
Landtransformatie (natuur)	m2	0.04	0.02	0.05
Uitputting watervoorraden	m3	11	10	10
Uitputting mineralenvoorraden	kg Fe eq	-2	-15	-2
Uitputting fossiele grondstoffen	kg oil eq	22	14	63

Tabel 3 laat zien dat per overledene:

- Natuurbegraven voor 16 van de 18 effectcategorieën de minste milieu-impact heeft. Alleen voor het landgebruik landbouw heeft natuurbegraven de hoogste impact.
- De uitputting van watervoorraden is voor alle categorieën ongeveer gelijk.
- Cremeren heeft voor 9 effectcategorieën de grootste milieu-impact.
- Cremeren en conventioneel begraven hebben de gedeelde laagste milieu-impact voor landgebruik landbouw.
- Cremeren en conventioneel begraven hebben de gedeelde hoogste milieu-impact voor ioniserende straling, zoetwater vermisting en uitputting van mineralenvoorraden.
- Conventioneel begraven heeft de hoogste milieu-impact in 3 effectcategorieën (humane toxiciteit zoetwater ecotoxiciteit en stedelijk landgebruik).

De milieuscores van de effectcategorieën, met verschillende eenheden, kunnen niet opgeteld worden tot een enkele milieuscore. Evenmin betekent een hoge score voor veel categorieën, dat de gehele milieuscore van een techniek hoger ligt dan de andere. De conclusies kunnen enkel voor iedere effectcategorie apart getrokken worden.

Per effectcategorie zijn er vaak een paar processen die een belangrijke rol spelen. Hierna wordt per milieueffectcategorie besproken welke processen de grootste rol spelen voor de drie uitvaarttechnieken.

Klimaatverandering

Cremeren levert de grootste bijdrage aan klimaatverandering, gevolgd door begraven met een circa tweemaal zo kleine bijdrage. De gasverbranding bij cremeren veroorzaakt het grootste deel van het effect. Bij conventioneel begraven komt het grootste effect van de kist alsmede het transport van de grafsteen. Bij natuurbegraven draagt het maken van de kist voor het grootste gedeelte bij aan de klimaatverandering.

Aantasting ozonlaag

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

Humane toxiciteit

Humane toxiciteit heeft een negatieve waarde bij alle drie de uitvaarttechnieken. Dit wordt veroorzaakt door de milieucompensatie die recyclen oplevert, de milieuwinst van het recyclen is het grootst bij de edelmetalen die teruggewonnen worden uit de sieraden. Bij conventioneel begraven treedt de minste compensatie op en is er wel enige toxiciteit ten gevolge van andere processen; netto is de humane toxiciteitswaarde bijna nul bij conventioneel begraven. Dit komt doordat er niet alleen negatieve milieuscores voor humane toxiciteit zijn, maar ook optredende milieueffecten ten gevolge van bijvoorbeeld het transport van de grafsteen. Daarnaast wordt er bij conventioneel begraven minder gerecycled dan bij de andere technieken. Bij cremeren wordt het toxiciteitseffect voornamelijk veroorzaakt door koperproductie voor elektronica en personenvervoer voor de asverstrooiing. Bij natuurbegraven heeft de kist de hoogste milieu-impact.

Smogvorming, fijnstofvorming, verzuring en vermesting (zoutwater)

Deze effectscores zijn het grootst bij cremeren, ten gevolge van de rookgassen¹⁷ en, in geval van vermesting, de asverstrooiing.

De effecten bij conventioneel begraven zijn ongeveer tweemaal zo klein en worden voornamelijk veroorzaakt door transportprocessen in de gehele keten, waaronder die van de steen, en door emissies tijdens de katoenproductie (voor verzuring). Bij natuurbegraven geldt hetzelfde als bij conventioneel begraven, alleen wordt daarbij als monument geen steen gebruikt, maar een lokaal geproduceerde boomschijf. Waardoor alle effecten voor natuurbegraven veel lager zijn.

Ioniserende straling

Bij conventioneel begraven, natuurbegraven en cremeren zijn processen tijdens de kistproductie de belangrijkste veroorzakers van de milieuscore voor ioniserende straling. Tijdens de winning van de natuursteen voor het grafmonument bij conventioneel begraven treden ook milieueffecten op, maar deze effecten worden grotendeels gecompenseerd door de recycling van de steen na de grafcrustperiode.

¹⁷ Dat de rookgassen na de reiniging toch nog milieu-impact hebben, klinkt wellicht paradoxaal, maar is heel goed verklaarbaar: tijdens de reiniging worden de toxische stoffen (zoals kwik) verwijderd, zodat "schone" rook overblijft. Deze rook bevat echter nog wel stoffen die bijdragen aan andere milieueffecten, zoals CO₂ en stikstofverbindingen.

Vermesting (zoetwater) en zoutwater ecotoxiciteit

Vermesting van zoetwater en toxiciteit voor zoutwater ecosystemen zijn het hoogst bij cremieren, want zij worden sterk beïnvloed door de asverstrooiing. De belangrijkste factoren bij begraven voor (zoetwater) vermisting is de vertering van het lichaam in de grond. De milieuscore voor zoutwater ecotoxiciteit bij begraven wordt grotendeels veroorzaakt door de nikkelproductie voor roestvrijstaal. Bij natuurbegraven is de milieuscore voor zoutwater ecotoxiciteit voor een groot deel toe te wijzen aan de katoenen bekleding van de kist.

Terrestrische ecotoxiciteit, zoetwater ecotoxiciteit, uitputting watervoorraden

De katoenen kistbekleding en lijkhoes zijn de belangrijkste veroorzakers van deze milieueffecten, omdat de productie van katoen milieubelastend is.

Bij cremieren is er een efficiënte recycling van kleine metalen, waaronder goud, waaraan een compenserend (negatief) milieueffect wordt toegekend aan de milieueffectcategorie zoetwater ecotoxiciteit.

Daardoor komt cremieren netto uit op een negatieve milieuscore voor deze categorie. Ook bij natuurbegraven is de recycling van edelmetalen de reden dat zoetwater ecotoxiciteit een negatief milieueffect heeft. Dit resultaat wordt dus sterk bepaald door de aannames omtrent de recyclingverschillen tussen de drie technieken.

Voor de andere twee effectcategorieën hebben begraven en cremieren een ongeveer even hoge waarde.

Landgebruik (landbouw)

Landbouw landgebruik is bij natuurbegraven het hoogste van de drie technieken. Dit heeft er mee te maken dat de grafrust van natuurbegraven toegekend is aan deze categorie, in tegenstelling tot het landgebruik van conventioneel begraven, dat toegekend is aan de categorie *stedelijk* landgebruik.

Er is in het basisscenario uitgegaan van 23 m²a natuurlijk landgebruik per persoon (oppervlakte maal tijdsduur), in tegenstelling tot 273 m²a stedelijk landgebruik bij conventioneel begraven.

Voor landgebruik (voor landbouw) scoort de houtwinning voor de kist (137 m²a/overledene), hoger dan de katoenproductie (20 m²a/overledene), die bij alle uitvaarttechnieken ontstaat.

Landgebruik (stedelijk)

Voor het stedelijk landgebruik is grafrust bij conventioneel begraven de enige factor die er werkelijk toe doet; cremieren en natuurbegraven hebben (bijna) geen stedelijk landgebruik; voor één begrafenis is 273 m²a (oppervlakte maal tijdsduur) nodig. Dit toont tevens aan hoe klein de impact is van een urnenmuur in vergelijking tot begraven. Een kleine illustratie:

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

Volgens bovenstaand scenario zou een urn 273 jaar moeten blijven staan om eenzelfde landgebruik te vertegenwoordigen als een begraven persoon.

Dit toont aan dat de landimpact van een urn in een urnenmuur vele malen lager is dan die van een gemiddeld graf.

Landtransformatie (natuur)

Alle drie de uitvaarttechnieken hebben lage waardes voor landtransformatie in vergelijking tot de hoeveelheid oppervlakte die gebruikt wordt (zie vorige punt); de transformatie is voor alle drie de gevallen minder dan 1 m². De “grootste bijdrage” is hier niet relevant.

Uitputting metalenvoorraden

Bij alle drie de uitvaarttechnieken is de uitputting van metalen negatief en wordt veroorzaakt door de recycling van de metalen.

Bij cremeren wordt de uitputting door de crematie en de afgasbehandeling (installaties) gecompenseerd door een hogere recycling van de metalen. Bij conventioneel begraven wordt er minder gerecycled, maar vind ook minder uitputting plaats. Bij natuurbegraven vind er ongeveer evenveel uitputting plaats als bij conventioneel begraven, maar wordt er meer gerecycled.

Uitputting fossiele grondstoffen

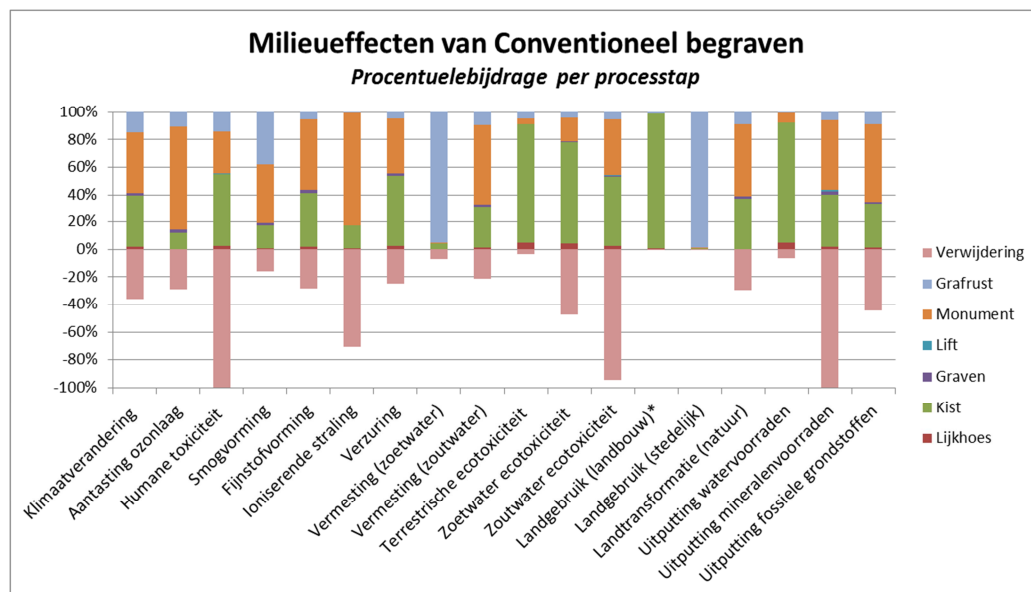
Cremeren heeft de hoogste waarde in deze effectcategorie, veroorzaakt door het gebruik van aardgas. Conventioneel begraven heeft een ongeveer tweemaal zo lage waarde als cremeren; dit wordt grotendeels veroorzaakt door het transport van het grafmonument. Door het lokaal produceren van het houten monument, wordt bij natuurbegraven de grootste impact op het gebied van fossiele uitputting veroorzaakt door de kist.

Alle effectcategorieën tezamen

De resultaten, die hierboven genoemd worden leiden tot de verwachting dat de netto milieubelasting van de uitvaarttechnieken het kleinst is voor natuurbegraven. Cremeren heeft een hogere milieubelasting dan conventioneel begraven voor meer effectcategorieën en dit zou kunnen leiden tot een grotere netto milieubelasting voor cremeren. Echter, omdat de verschillende effectcategorieën uitgedrukt worden in verschillende eenheden, is het niet mogelijk om ze op te tellen; hiervoor is een wegingsstap noodzakelijk. Weging introduceert altijd een subjectieve laag in de resultaten, maar kan ook de resultaten tevens begrijpelijker maken voor de niet-geofende lezer. Gewogen resultaten worden daarom besproken in paragraaf 5.2.3.

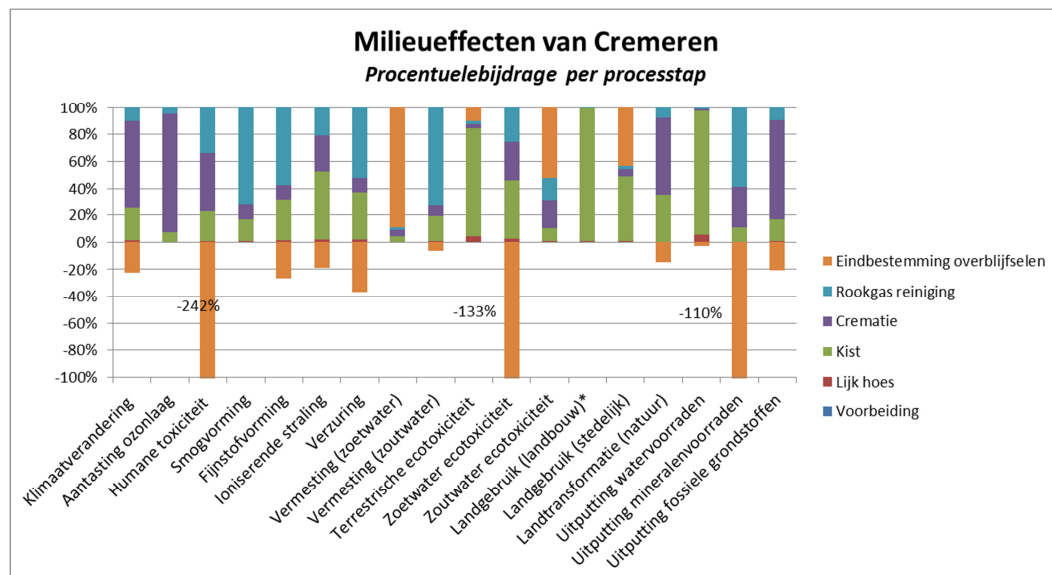
5.2.2 *Milieueffecten per processtap*

Ter aanvulling op de zwaartepuntenanalyse uit de vorige paragraaf, is tevens gekeken welke processtappen de grootste invloed hebben per effectcategorie. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 5-1 tot en met Figuur 5-3 en worden hierna kort een voor een besproken.



Figuur 5-1 Milieueffecten van conventioneel begraven, per processtap. Recyclingprocessen zijn meegenomen in de processtap “Verwijdering”. *Landgebruik is een gevoelige categorie, enkele aannames voor natuurbegraven zijn in de gevoeligheidsanalyse bekeken.

Figuur 5-1 toont dat de het monument, de kist en de verwijderingsfase voor de meeste effectcategorieën een grote invloed hebben. Grafrust domineert voor twee effectcategorieën: zoetwatervermesting en stedelijk landgebruik. Wat nog niet eerder uit de resultaten bleek, maar nu duidelijk te zien is, is dat de impact van de lift, het graven en de lijkhoes verwaarloosbaar klein zijn in vergelijking tot de andere processtappen.



Figuur 5-2 Milieueffecten van cremeren, per processtap. Recyclingprocessen zijn meegenomen in de processtap “Eindbestemming overblijfselen”. *Landgebruik is een gevoelige categorie, enkele aannames voor natuurbegraven zijn in de gevoeligheidsanalyse bekeken.

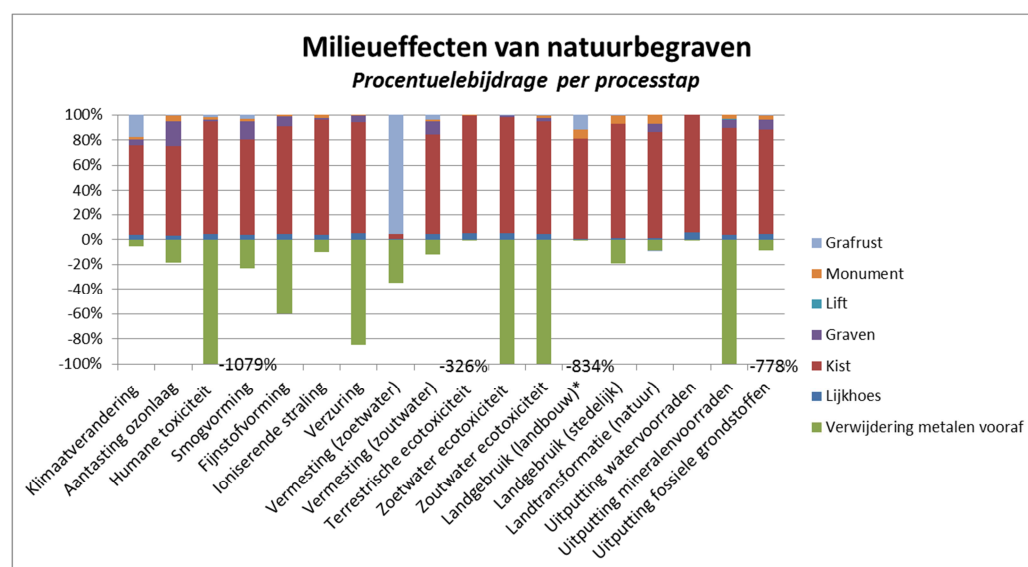
Figuur 5-2 toont een divers beeld wat betreft de verschillende processtappen en hun milieueffecten bij cremeren.

De eindbestemming van overblijfselen heeft een grote impact, zowel voor de negatieve as van de grafiek (ten gevolge van recycling) voor twee categorieën, als ook een grote milieubelasting van zoetwater vermesting, zoutwater ecotoxiciteit en stedelijk landgebruik. Deze laatste wordt veroorzaakt doordat de totale impact van deze categorie al erg laag is (slechts 2 m²a voor cremieren in vergelijking tot 273 m²a bij conventioneel begraven; zie Tabel 3).

Het crematieproces zelf heeft een grote impact voor klimaatverandering, aantasting ozonlaag en fossiele brandstoffen; dit is geen verrassing, gezien het aardgasverbruik. Bij landtransformatie speelt hetzelfde als bij stedelijk landgebruik; deze categorie heeft een lage totaalwaarde en daardoor geven kleine (absolute) bijdrages op de procentuele schaal een uitvergroting.

De grote impacts van de (gereinigde) rookgasemissies zijn reeds besproken in de vorige paragraaf, evenals de grote impact van de kist voor bepaalde effectcategorieën, die gerelateerd zijn aan katoen- en houtproductie.

De lijkhoes en de voorbereidende processen zijn nog niet eerder benoemd, en blijken een kleine rol te spelen in vergelijking tot de andere processtappen.

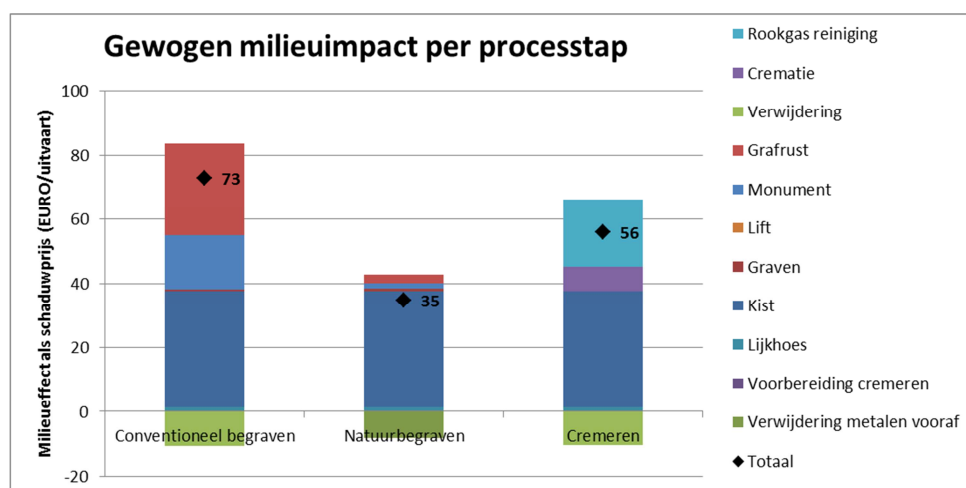


Figuur 5-3 Milieueffecten van natuurbegraven, per processtap. Recyclingprocessen zijn meegenomen in de processtap "Verwijdering metalen vooraf". *Landgebruik is een gevoelige categorie, enkele aannames voor natuurbegraven zijn in de gevoeligheidsanalyse bekeken.

Figuur 5-3 toont duidelijk waar de milieuwinst bij natuurbegraven vandaan komt. De recycling van de metalen heeft een belangrijke (negatieve) bijdrage voor een groot aantal effectcategorieën. De kist heeft een belangrijke bijdrage aan bij alle effectcategorieën. De grafrust heeft een grote impact op de milieueffectcategorie zoetwater vermesting. De zoetwater vermesting wordt veroorzaakt door de vertering van het lichaam.

5.2.3 De overall milieu-impact, uitgedrukt in schaduwpreizen

In dit hoofdstuk wordt de schaduwpreizenmethode gebruikt om de totale milieu-impact van de verschillende uitvaarttechnieken te berekenen en om te onderzoeken welke onderdelen het sterkst bijdragen aan deze impact. De bijdragen van alle effectcategorieën zijn uitgerekend voor alle materialen en (deel)processen van de drie uitvaarttechnieken. Een compleet overzicht van de resultaten is gegeven in Bijlage D. De totale milieu-impact, uitgedrukt als schaduwprijs, voor de uitvaarttechnieken is weergegeven in Figuur 5-4.



Figuur 5-4 De milieu-impact van de uitvaarttechnieken conventioneel begraven, natuurbegraven en cremeren, uitgedrukt in schaduwpreizen.

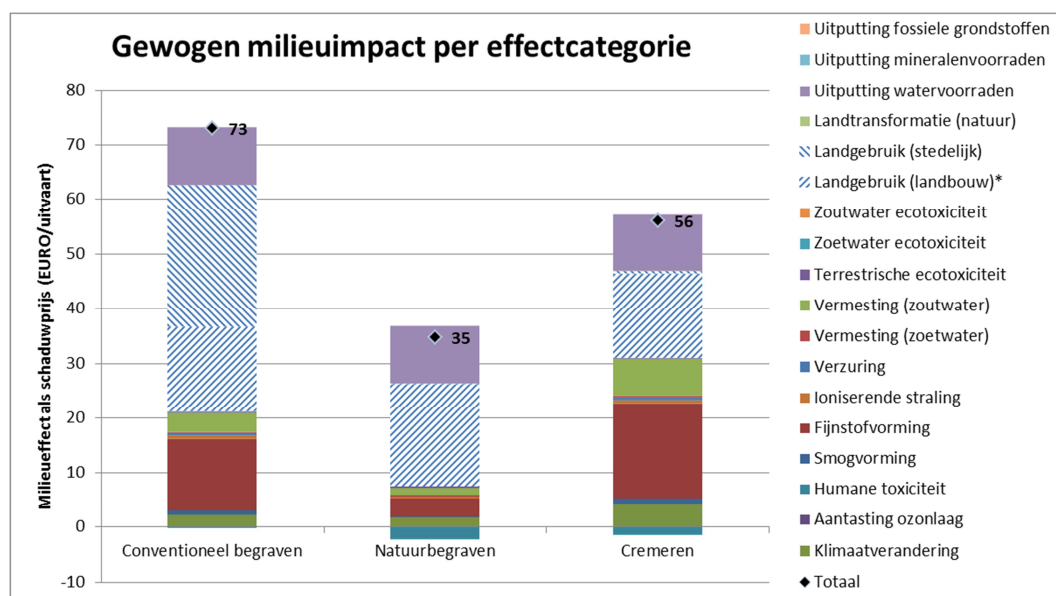
De resultaten van Figuur 5-4 maken duidelijk dat de totale milieu-impact (als schaduwprijs) voor natuurbegraven het laagst uitvalt en dat conventioneel begraven de hoogste milieu-impact heeft. Meerdere factoren, zowel de data als de methode, kunnen een rol spelen bij deze hoge totaalscore voor natuurbegraven. Bij de gevoeligheidsanalyse zal dan ook dieper ingegaan worden op onder andere het landgebruik bij natuurbegraven. In eerder studies (Keijzer, Broeke, & Ansems, 2014) en (Keijzer & Kok, 2011) is al ingegaan op de gevoeligheden van conventioneel begraven en cremeren, daarom worden deze niet meegenomen. Verder is in Figuur 5-4 te zien dat de belangrijkste impact voor alle drie de uitvaarttechnieken veroorzaakt wordt door de kist. Tevens levert bij alle uitvaarttechnieken de terugwinning van metalen een positieve bijdrage aan het milieu (een negatieve milieu impact). Bij conventioneel begraven zijn daarnaast ook nog belangrijke bijdrages uit het monument en de grafrust. Voor cremeren is verder duidelijk te zien dat de crematie zelf en de rookgasreiniging nog een belangrijke bijdrage leveren.

Daarnaast zijn de resultaten van alle schaduwpreizen voor de drie uitvaarttechnieken weergegeven in Figuur 5-5.

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

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

Effectcategorie	Conventioneel begraven	Natuurbegraven	Cremeren
Klimaatverandering	2	2	4
Aantasting ozonlaag	0	0	0
Humane toxiciteit	0	-2	-1
Smogvorming	1	0	1
Fijnstofvorming	13	3	17
Ioniserende straling	1	0	1
Verzuring	0	0	1
Vermesting (zoetwater)	0	0	0
Vermesting (zoutwater)	3	1	7
Terrestrische ecotoxiciteit	0	0	0
Zoetwater ecotoxiciteit	0	0	0
Zoutwater ecotoxiciteit	0	0	0
Landgebruik (landbouw)	15	19	15
Landgebruik (stedelijk)	26	0	0
Landtransformatie (natuur)	0	0	0
Uitputting watervoorraden	11	10	10
Uitputting mineralenvoorraden	0	0	0
Uitputting fossiele grondstoffen	0	0	0
Totaal milieueffect (als schaduw prijs)	73	35	56



Figuur 5-5 Bijdragen milieu-impact, uitgedrukt in schaduw prijzen, van de drie uitvaarttechnieken: conventioneel begraven, natuurbegraven en cremeren. *Landgebruik is een gevoelige categorie, enkele aannames voor natuurbegraven zijn in de gevoeligheidsanalyse bekeken.

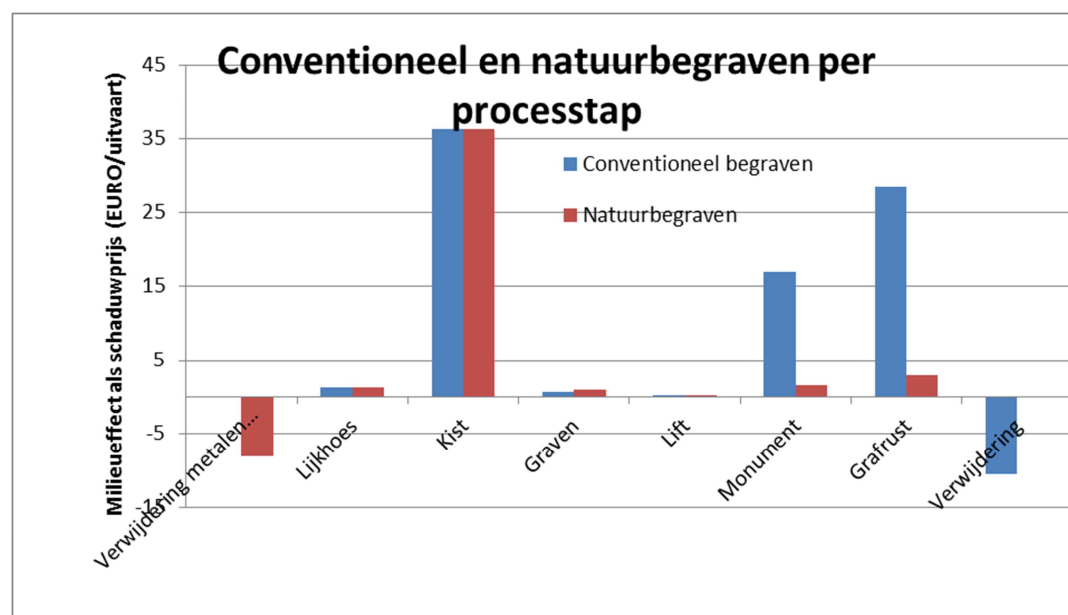
De volgorde van de effectcategorieën die het meest bijdragen aan het totale milieueffect per uitvaarttechniek, berekend met de Recipe-methode, is als volgt (een asterisk* betekent dat de bijdrage negatief is):

- Conventioneel begraven: Stedelijk landgebruik, fijnstofvorming, uitputting watervoorraden, landgebruik landbouw, vermesting (zoutwater)...
- Natuurbegraven: Landgebruik landbouw, uitputting watervoorraden, fijnstofvorming, humane toxiciteit*, klimaatverandering...
- Cremeren: Fijnstofvorming, uitputting watervoorraden, landgebruik landbouw, vermesting (zoutwater), klimaatverandering...

Bij natuurbegraven en cremeren valt op dat er een negatieve bijdrage is in de milieu-impact van humane toxiciteit. Dit wordt veroorzaakt door de milieubonus die verkregen wordt door het terugwinnen van metalen. Bij conventioneel begraven gebeurt dit in mindere mate, waardoor dit niet genoeg bijdraagt om negatief uit te pakken. Bij natuurbegraven worden de sieraden voor de uitvaart verwijderd. Het is niet bekend hoeveel uitwendige protheses verwijderd kunnen worden, daarom is dit niet meegenomen, maar wordt dit in de gevoeligheidsanalyse nader bekeken.

5.2.4 Milieu impact voor natuurbegraven en conventioneel begraven, uitgedrukt in schaduwkosten

Om inzicht te krijgen in de milieubelasting bij natuurbegraven is het interessant om te zien welke processen de milieu-impact veroorzaken. Om dit effect inzichtelijk te maken is in Figuur 5-6 de milieu impact weergegeven per processtap. Voor de vergelijking is conventioneel begraven mede weergegeven om de omvang van de impacts beter te kunnen schatten.



Figuur 5-6 De milieu impact van natuurbegraven en conventioneel begraven uitgedrukt in schaduwkosten per processtap.

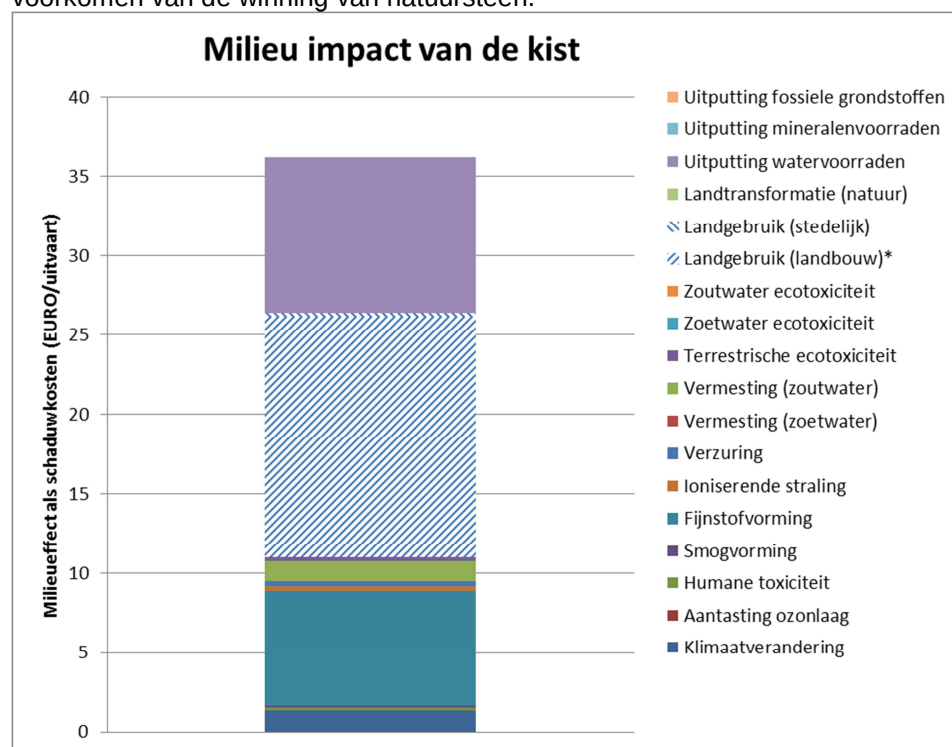
Het eerste wat opvalt is dat de verwijdering bij conventioneel begraven achteraf plaats vindt, terwijl bij natuurbegraven de verwijdering vooraf plaats vindt.

De orde grootte van deze twee verwijderingsprocessen is vergelijkbaar, waarbij gemeld moet worden dat de totale hoeveelheid metalen die teruggewonnen wordt bij conventioneel begraven groter is, terwijl bij natuurbegraven het aandeel edelmetalen dat teruggewonnen wordt groter is.

Omdat de recycling van edelmetalen echter een grotere impact heeft dan van “gewone” metalen, is de milieubonus bij natuurbegraven vergelijkbaar met die van conventioneel begraven.

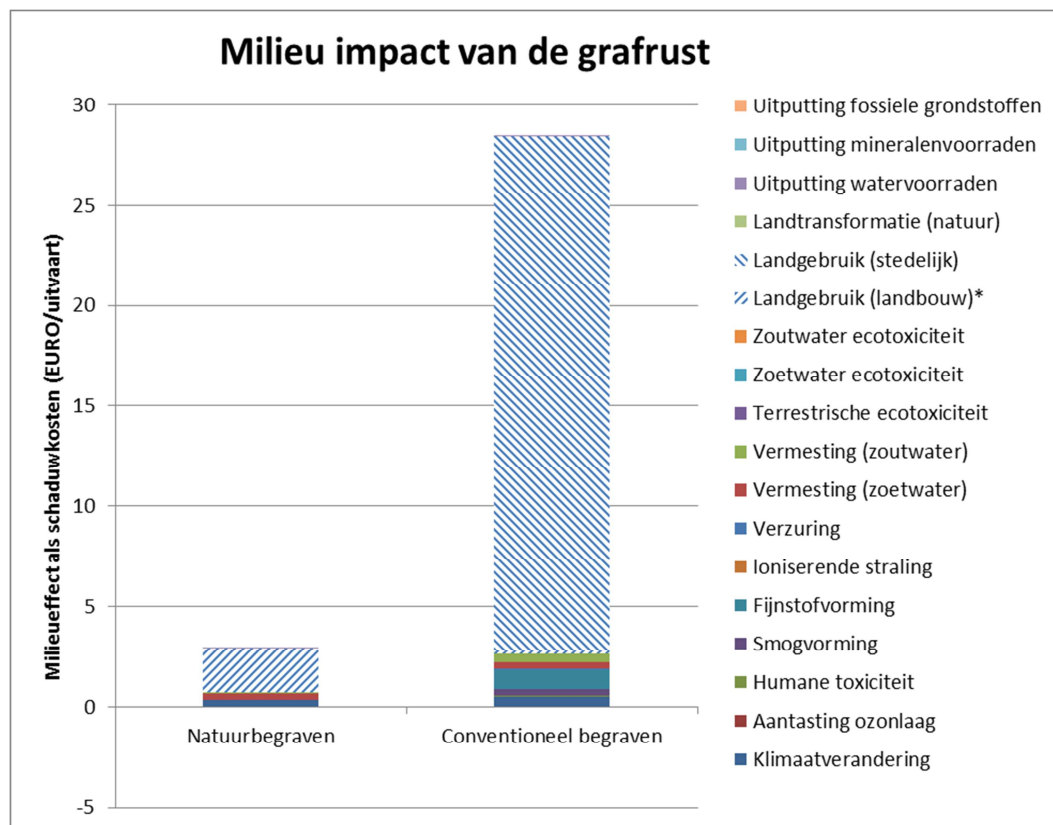
De kist is in zowel natuurbegraven als conventioneel begraven gelijk gehouden. De bijdrages aan de verschillende milieuthema's is terug te vinden in Figuur 5-7. De uitleg waarom de bijdrages van fijnstof vorming, landgebruik landbouw en uitputting watervoorraden hoog scoren, is terug te vinden in hoofdstuk 5.2.1.

Het verschil in monument is ook duidelijk terug te zien in de resultaten. Dit verschil is voornamelijk ten gevolge van sterk verminderde hoeveelheid transport en het voorkomen van de winning van natuursteen.



Figuur 5-7 De milieu impact van de kist voor natuurbegraven en conventioneel begraven uitgedrukt in schaduwkosten. *Landgebruik is een gevoelige categorie, enkele aannames voor natuurbegraven zijn in de gevoeligheidsanalyse bekeken.

Als laatste is de grafrust een belangrijk onderdeel voor het verschil in milieu-impact tussen conventioneel en natuurbegraven. In Figuur 5-8 is te zien dat vrijwel het volledige verschil te herleiden is aan het verschil in landgebruik. Voor natuurbegraven is dit landgebruik landbouw en voor conventioneel begraven is dit stedelijk landgebruik, waarbij het verschil in milieu-impact terug te leiden is tot het verschil in grafrustperiode, graf grootte en type landgebruik.



Figuur 5-8 De milieu impact van de grafrust voor natuurbegraven en conventioneel begraven uitgedrukt in schaduwkosten. *Landgebruik is een gevoelige categorie, enkele aannames voor natuurbegraven zijn in de gevoeligheidsanalyse bekeken.

5.3 Gevoeligheidsanalyses

5.3.1 Overzicht

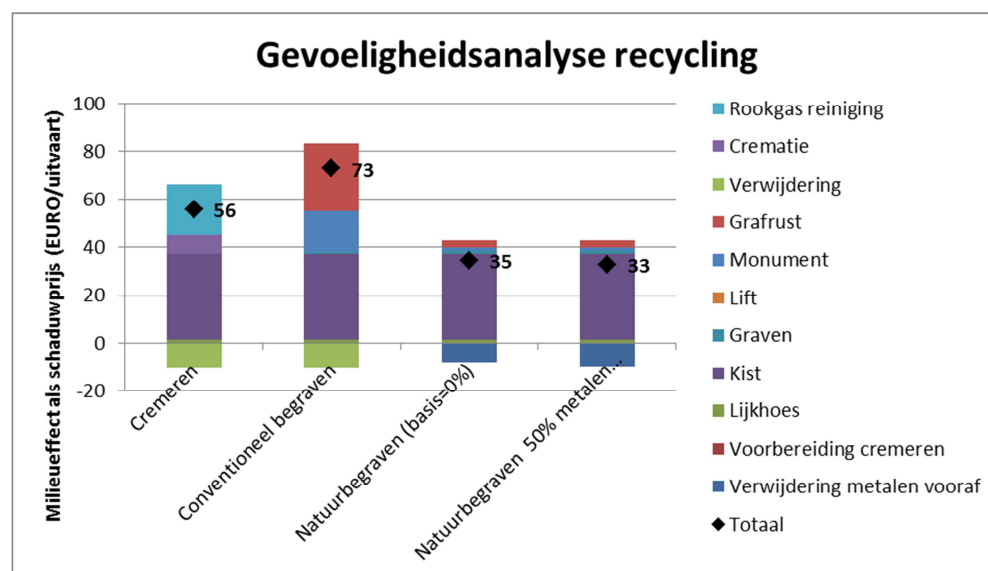
Bij gevoeligheidsanalyses wordt de gevoeligheid van de resultaten voor variaties in systeemparemeters geanalyseerd. Hiermee kan inzicht gegeven worden in de betrouwbaarheid en variatie van de resultaten. Gevoeligheidsanalyses kunnen uitgevoerd worden op onderwerpen waarbij onzekerheden zijn in de gehanteerde methodiek, gemaakte keuzes en de invoergegevens of waarbij grote bijdragen het beeld bepalen of trends een rol spelen. In de bespreking van de resultaten zijn de belangrijkste onderwerpen voor de gevoeligheidsanalyses reeds naar voren. In de gevoeligheidsanalyses zijn naar twee aspecten gekeken die belangrijk (kunnen) zijn voor natuurbegraven, de terugwinning van metalen en het landgebruik. Aangezien landgebruik een zeer bepalende milieu-impact is, zijn er verschillende manieren gevonden om naar het landgebruik te kijken. Gevoeligheidsanalyses voor cremen en conventioneel begraven zijn in eerdere studies (Keijzer, Broeke, & Ansems, 2014) en (Keijzer & Kok, 2011) uitgevoerd, daarom is gefocusseerd op gevoeligheden voor natuurbegraven. Dit heeft geleid tot de volgende gevoeligheidsanalyses.

- 1) Recycling
- 2) Allocatie begraafplaats
- 3) Grafrustperiode
- 4) Methode voor landgebruik

De resultaten van deze gevoeligheidsanalyses worden verder besproken in de volgende secties.

5.3.2 Gevoeligheidsanalyse #1, Recycling

In het basisscenario is er van uitgegaan dat alle edelmetalen als sieraden verwijderd worden, voorafgaand aan de natuurbegrafenis. Waarschijnlijk wordt ook een deel van de overige metalen verwijderd, echter zijn geen gegevens beschikbaar over de verdeling van de metalen over uitwendig (bv. protheses, sieraden) en inwendig (implantaten) gebruik. Om dit effect te bestuderen, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarbij aangenomen is dat de helft van de overige metalen (niet edel metalen) voorafgaand aan de natuurbegrafenis ook verwijderd worden. Dit resulteert in Figuur 5-9.



Figuur 5-9 Gevoeligheidsanalyse voor recycling, bij het basisscenario van natuurbegraven wordt 0% van de onedele metalen vooraf verwijderd, bij de gevoeligheidsanalyse wordt 50% van de onedele metalen vooraf verwijderd.

In Figuur 5-9 is te zien dat de totale impact nauwelijks verandert indien de helft van de niet-edelmetalen ook vooraf verwijderd wordt. Het verschil is ongeveer 1,9 €, oftewel 3,8% minder ten opzichte van het basisscenario. Dit effect wordt voornamelijk bereikt bij de milieueffecten fijnstofvorming en klimaatverandering. Met deze gevoeligheidsanalyse wordt duidelijk dat de impact niet significant beïnvloed wordt door deze aanname.

5.3.3 Gevoeligheidsanalyse 2, Allocatie begraafplaats

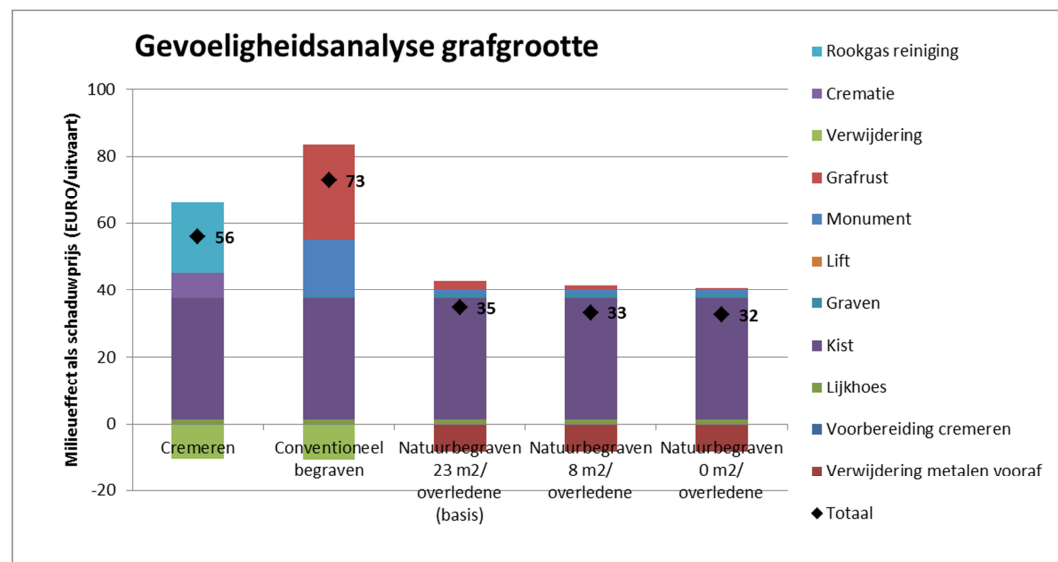
Zoals reeds vermeld in de beschrijving van de verschillende systemen, is de oppervlakte van de natuurbegraafplaats een gevoelige parameter. De totale oppervlakte van de natuurbegraafplaats is in het basisscenario toegekend aan de uitvaart en dus als landoppervlakte hieraan gealloceerd, resulterend in ongeveer 23 m²/overledene. De gedachtegang hierbij is, dat het gebied als begraafplaats gezien wordt en niet als natuurgebied.

Indien alleen de oppervlakte van het graf aan de overledene gealloceerd wordt, komt de oppervlakte uit op ongeveer¹⁸ 8 m²/overledene.

¹⁸ Bij deze berekening is een marge toegevoegd aan het graf van ruim een halve meter aan iedere zijde, in de veronderstelling dat de graven onmogelijk centimeter-aan-centimeter kunnen liggen.

Een derde mogelijkheid is dat het gehele gebied beschouwd wordt als natuurgebied, aangezien het gebied ingericht wordt als natuurgebied; in dat geval zal er 0 m²/overledene toegekend worden bij het natuurbegraven.

In alle scenario's is de impact van het onderhoud van de natuurbegraafplaats gelijk gehouden, want dit is een activiteit die moet plaatsvinden ongeacht de allocatie van de grafoppervlakte. De resultaten van deze gevoeligheidsanalyse is weergegeven in Figuur 5-10.



Figuur 5-10 Gevoeligheidsanalyse voor de allocatie van het landgebruik voor natuurbegraven.

In Figuur 5-10 is te zien dat de allocatie van het landgebruik weinig impact heeft op de vergelijking van de uitvaarttechnieken. In het basisscenario is de impact van natuurbegraven 50 € schaduwkosten per overledene. Wanneer al het landgebruik als natuur wordt gekenmerkt (0 m²/overledene), daalt de impact naar circa 47 €. Dit wordt slechts veroorzaakt door de vermindering in landgebruik landbouw, dit verandert van 200 m²a naar respectievelijk 184 m²a en 176 m²a voor de beide allocaties van 8 en 0 m²/overledene.

Bij deze gevoeligheidsanalyse moet aangemerkt worden dat landgebruik een milieueffect is waarover in de LCA-wetenschap nog geen consensus is. Landgebruik wordt niet unaniem erkend als milieueffect. Daarnaast is de gemiddelde "waarde" (oftewel schaduwprijs) van landgebruik nog een veel bediscussieerd onderwerp.

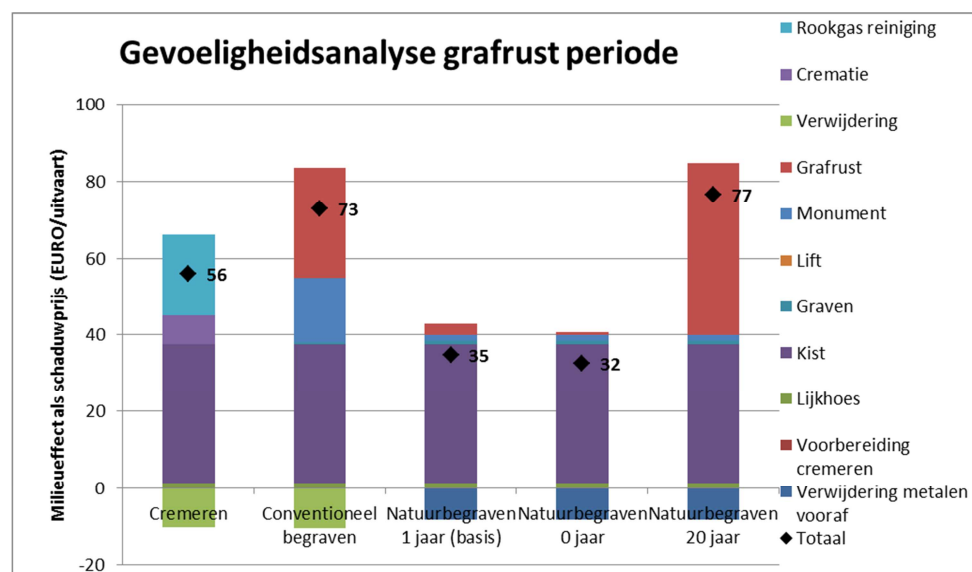
5.3.4 Gevoeligheidsanalyse 3, grafrustperiode

In deze studie is uitgegaan van 1 jaar grafrust als herstel periode voor de natuur. Zoals eerder besproken in de systeembeschrijving, valt het zowel te verdedigen om een kortere grafrusttermijn te hanteren, als een langere termijn.

De langere termijn slaat op het feit dat men 'eeuwig' begraven wordt op de natuurbegraafplaats; dit zou een hypothetische oneindige milieubelasting veroorzaken. Omdat er echter niet gerekend kan worden met "oneindigheid" en dit ook geen realistische termijn is om uitspraken over te doen, is er in deze gevoeligheidsanalyse 20 jaar gebruikt. Dit is de periode waarin de begraafplaats volledig bezet is, indien er één begravenis per dag uitgevoerd wordt.

De oppervlakte die hierbij berekend is, van 8 m², is lager dan de 10 m² die gehanteerd wordt voor conventioneel begraven voor een graf plus paadjes en groenvoorziening.

Als kortere grafrustperiode is er gerekend met 0 jaar, het uitgangspunt hierbij is dat er geen schade is aan de natuur. In Figuur 5-11 zijn de resultaten van deze gevoeligheidsanalyse gepresenteerd.

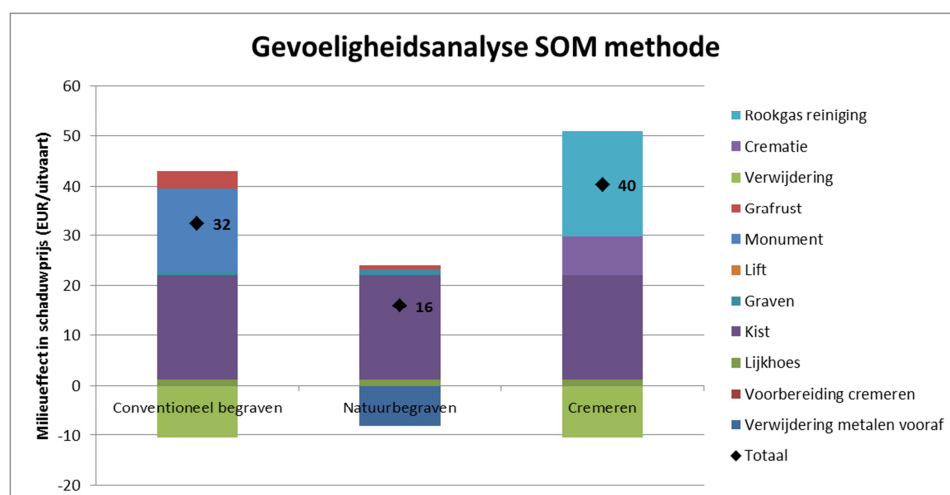


Figuur 5-11 Gevoeligheidsanalyse voor de grafrustperiode bij natuurbegraven.

De resultaten in Figuur 5-11 laten zien dat indien uitgegaan wordt van 20 jaar grafrust de impact verdrievoudigd. Het landgebruik landbouw wordt dan verhoogd naar circa 650 m²a in plaats van 200 m²a in het basisscenario. Dit heeft tot gevolg dat de totale schaduwprijs van natuurbegraven verhoogt naar 77 €. Niet alleen het landgebruik verandert, ook andere milieueffecten verhogen in kleine mate, als gevolg van de langere onderhoudsperiode van de natuurbegraafplaats. De impact daarvan is echter verwaarloosbaar (<1%). Deze wijziging zorgt dus voor een verandering in de resultaten, aangezien natuurbegraven dan de meeste milieu impact heeft. Als de beschouwde grafrustperiode verkort wordt tot 0 jaar, dan is de totale milieu-impact van natuurbegraven 32 €, ongeveer 3 € lager. Het landgebruik landbouw daalt dan naar 176 m²a. De verkorting van de beschouwde grafrustperiode zorgt dus voor een kleine verandering in de resultaten. Deze gevoeligheidsanalyse toont aan dat de beschouwde grafrustperiode een belangrijke parameter is voor de conclusies. Een langere grafrusttermijn zorgt ervoor dat de milieu-impact van natuurbegraven hoger wordt dan de conventionele technieken begraven en cremen. De enige milieueffectcategorie die hierbij significant verandert is landgebruik landbouw, en daarom wordt er aandacht besteed aan deze categorie in de volgende gevoeligheidsanalyse.

5.3.5 Gevoeligheidsanalyse methode landgebruik

In de ReCiPe-methode wordt standaard gebruik gemaakt van de categorieën landgebruik stedelijk, landgebruik landbouw en landtransformatie om het effect op het veranderen van natuur en het bezet houden van land te kwantificeren. Het nadeel van deze methode is dat er geen rekening met het type land gehouden wordt. Er zijn echter alternatieve methodes die rekening houden met de verschillende types land. De ILCD, het LCA-onderzoeksinstituut dat verbonden is aan de Europese Unie, adviseert om Soil Organic Matter (SOM) te gebruiken om landtypes te onderscheiden. Bij deze methode wordt gekeken naar de hoeveelheid koolstof die bij een bepaald land type hoort. Dit resulteert in Figuur 5-12.



Figuur 5-12 Gevoeligheidsanalyse waarbij de 'Soil Organic Matter' methode gebruikt wordt. Een schaduwprijs van 0,015 euro per kilogram koolstofverlies is gehanteerd, gebaseerd op (Keijzer E. , 2013).

Bij de SOM-methode wordt de impact van natuurbegraven veel minder, zoals te zien is in Figuur 5-12. Dit komt doordat de 'natuurwaarde' gekoppeld wordt aan het type landgebruik of landtransformatie. In Tabel 5 wordt weergegeven wat de waarde volgens de SOM-methode is voor de verschillende uitvaartopties. Hierbij valt op dat de waarde voor conventioneel begraven lager is dan bij cremen.

Tabel 5 Milieu-impact voor Soil Organic Matter voor de drie uitvaartmogelijkheden.

Type uitvaart	Soil Organic Matter	
	kg koolstofverlies	€
Cremeren	717	0,11
Conventioneel begraven	4818	0,77
Natuurbegraven	886	0,14

Door het uitvoeren van deze gevoeligheidsanalyse blijkt dat hoe de methode voor landgebruik een bepalende invloed heeft op de conclusies. De SOM-methode, die op Europees niveau voorgesteld wordt in plaats van de reguliere landgebruikmethodes, leidt tot de conclusie dat de milieu-impact van (natuur)begraven lager is dan cremen, waar conventioneel begraven in eerste instantie nog een grotere milieu impact had.

6 Conclusies

Het doel van deze studie is om drie verschillende uitvaarttechnieken te vergelijken wat betreft hun milieueffecten in alle fases van de uitvoering van deze techniek.

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

- Natuurbegraven voor 16 van de 18 effectcategorieën de minste milieu-impact heeft. Alleen voor het landgebruik landbouw heeft natuurbegraven de hoogste impact.
- De uitputting van watervoorraden is voor alle categorieën ongeveer gelijk.
- Cremeren heeft voor 9 effectcategorieën de grootste milieu-impact.
- Cremeren en conventioneel begraven hebben de gedeelde laagste milieu-impact voor landgebruik landbouw.
- Cremeren en conventioneel begraven hebben de gedeelde hoogste milieu-impact voor ioniserende straling, zoetwater vermisting en uitputting van mineralenvoorraden.

Conventioneel begraven heeft de hoogste milieu-impact in 3 effectcategorieën (humane toxiciteit zoetwater ecotoxiciteit en stedelijk landgebruik).

Uit de zwaartepuntenanalyse bleek dat er een klein aantal processen was dat deze resultaten het meest beïnvloedde. De katoenen kistbekleding en lijkhoes (bij begraven en cremeren) zijn de belangrijkste veroorzakers van terrestrische en zoetwater ecotoxiciteit, landgebruik (landbouw) en uitputting van watervoorraden, omdat de productie van katoen milieubelastend is. Het gebruik van hout in de kist is tevens voor landgebruik (landbouw) een onderdeel met grote impact.

De hoge scores van cremeren voor uitputting van fossiele grondstoffen wordt veroorzaakt door het gebruik van aardgas. Begraven heeft een ongeveer tweemaal zo lage score, welke grotendeels veroorzaakt wordt door het zware transport van het grafmonument. De rookgassen zijn de belangrijkste factor bij smogvorming, fijnstofvorming en verzuring. De asverstrooiing en vertering van de stoffelijke resten in de bodem hebben sterke invloed op de vermestingseffecten (zowel zoet- als zoutwater) en toxiciteit voor zoutwater ecosystemen. De grafgruist vormt de voornaamste contribuant voor landgebruik bij conventioneel begraven en bij natuurbegraven wordt dit landgebruik veroorzaakt door het houtgebruik. Tot slot blijkt dat er één categorie is waar alle technieken een negatieve milieu-impact (dus milieuvoordeel) vertonen: humane toxiciteit. Deze “milieubonus” is te danken aan de milieuvoordelen van recyclingsprocessen.

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

Voor natuurbegraven heeft de kist de grootste impact op de meeste categorieën. Het recyclen van de metalen zorgt bij veel categorieën voor een negatieve milieu-impact, bij vier categorieën zelfs de grootste impact. De grafgruist domineert de categoriezoetwatervermesting.

Het crematieproces heeft een grote impact voor klimaatverandering, aantasting ozonlaag en fossiele brandstoffen; dit is geen verrassing, gezien het hoge aardgasverbruik.

De eindbestemming van overblijfselen heeft een grote impact zowel wat betreft milieuwinst (ten gevolge van recycling) voor twee categorieën, als ook een grote milieubijdrage voor zoetwater vermesting, en zoutwater ecotoxiciteit. De (gereinigde) rookgasemissies hebben grote impacts ondanks de afwezigheid van schadelijke stoffen, omdat er wel emissies optreden die bijdragen aan andere effectcategorieën, zoals fijnstof. Evenals bij begraven is er voor cremen een grote bijdrage van de kist voor bepaalde categorieën, die gerelateerd zijn aan katoen- en houtproductie.

Om een meer kwantitatieve uitspraak over de totale milieu-impact van de drie uitvaarttechnieken te kunnen doen is gebruik gemaakt van de schaduwrijzen methode. Hier moet bij opgemerkt worden dat deze weging, aldus ISO 14040/14044 (ISO, 2006), een subjectieve laag toevoegt aan de resultaten. De resultaten van de schaduwrijzenanalyse maken duidelijk dat de totale milieu-impact (als schaduwrijzen):

- van conventioneel begraven het grootst is, gevolgd door cremen en natuurbegraven
- de totaalimpact van natuurbegraven grotendeels veroorzaakt wordt door de score in de milieueffectcategorie "landgebruik landbouw".

Er zijn vier gevoeligheidsanalyses uitgevoerd:

- Recycling van metalen
- Allocatie van het landgebruik
- Grafrusttermijn
- Methode om landgebruik en landtransformatie te kwantificeren

Het veranderen van de efficiëntie van het recyclen heeft geen noemenswaardige impact op de resultaten van natuurbegraven.

Bij het veranderen van de allocatie van het landgebruik wordt duidelijk dat de totale impact nauwelijks afhankelijk is van de allocatie.

Als de grafrustperiode gelijk gesteld wordt aan 20 jaar, wordt de gewogen impact van natuurbegraven groter dan de impact van de conventionele technieken begraven en cremen.

De conclusies veranderen sterk wanneer er een andere methode wordt gebruikt om landgebruik te kwantificeren. Wanneer de –op Europees niveau geadviseerde- SOM-methode gebruikt wordt om verschillende landtypes te kwantificeren, wordt de totale milieu-impact het hoogst bij cremen en het laagst bij natuurbegraven.

De drie gevoeligheidsanalyses voor landgebruik tonen aan dat zowel de beschouwde grafrusttermijn van grote invloed is op de resultaten en conclusies. De laatste gevoeligheidsanalyse toonde echter duidelijk dat dergelijke aannames van minder belang zijn, als er een methode wordt gekozen die duidelijk onderscheid maakt tussen verschillende landgebruik types. Op basis van de SOM-methode kan geconcludeerd worden dat de gewogen milieu-impact van cremen hoger is dan de milieu-impact van (natuur)begraven.

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

7 Referenties

- Anderson. (2007). *Analysis of Alkaline Hydrolysis Sample*. CLARCC.
- Appelman, W., & Kok, H. (2005). *Beoordeling van de milieu-effecten van het Amalgator kwikafvangstelsysteem voor crematoria*. Apeldoorn: TNO.
- Aqua Omega. (2010). Persoonlijke communicatie.
- Axelrad, D., Goodman, S., & Woodruff, T. (2009). PCB body burdens in US women of childbearing age 2001-2002: an evaluation of alternate summary metrics of NHANES data. *Environmental research*, 368-378.
- Bruyn, S. d., Korteland, M., Markowska, A., Davidson, M., Jong, F. d., Bles, M., et al. (2010). *Valuation and weighting of emissions and environmental impacts*. Delft: CE.
- CBS. (2003, 11 03). *Steeds minder mensen hebben een kunstgebit*. Webmagazine. Retrieved 11 04, 2010, from CBS: www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/gezondheid-welzijn/publicaties/artikelen/archief/2003/2003-1308-wm.htm
- Costanza, R., Arge, R. d., Groot, R. d., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., et al. (1997). The value of the world's ecosystem service and natural capital. *Nature*, 253-260.
- De Gedenkgroep. (2010). Persoonlijke communicatie.
- Dent, B. (2002). *The hydrogeological context of cemetery operations and planning in Australia*. PhD Thesis. University of Technology: Sydney.
- Dent, B., & Knight, M. (1998). Cemeteries: a special kind of landfill. The context of their sustainable management. *Conference of the International Association of Hydrogeologists: "Groundwater: Sustainable Solutions"* (pp. 451-456). Melbourne: International Association of Hydrogeologists.
- DFW. (2010). Persoonlijke communicatie.
- Dijk, S. v., & Mennen, M. (2002). *Lijkbezorging in Nederland. Evaluatie inspectierichtlijn, overzicht van de branche en inzicht in naleving van regelgeving*. Bilthoven: RIVM.
- Doka, G. (2007). *Life cycle inventories of waste treatment services. Ecoinvent report No. 13. Part III, Landfills – underground deposits – landfarming*. . Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Duigou, A., Davies, P., & Baley, C. (2011). Environmental impact analysis of the production of flax fibres to be used as composite material reinforcement. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 1-13.
- Ecogeek. (2010). *The greenest way to die: liquification*. Retrieved 11 29, 2010, from Ecogeek: www.ecogeek.org/component/content/article/1529
- Eggels, P., & Ven, B. v. (2000). *Background data for the building environment, a reference database. The VLCA database. TNO-MEP R2000/130*. Apeldoorn: TNO.
- Facultatieve Technologies. (2010). Persoonlijke communicatie.
- Forbes, G. (1987). *Human body composition: growth, aging, nutrition, and activity*. New York: Springer-Verlag.
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Doka, G., Dones, R., Heck, T., et al. (2007). *Overview and Methodology. Ecoinvent report No. 1*. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Fritz, T. (2011). *Analytical report. TestAmerica Job ID 660-44052-1. Effluent Sampling and analysis*. Tampa (FL): TestAmerica Laboratories Inc.
- Funeral Products. (2010). Persoonlijke communicatie.
- Genius Loci. (2010). Persoonlijke communicatie.

- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A. d., Struijs, J., & Zelm, R. v. (2009). *ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level; First edition Report I: Characterisation*.
- Goedkoop, M., Schryver, A. d., & Oele, M. (2008). *Introduction to LCA with SimaPro 7*. Amersfoort: PRé Consultants.
- Groot, R. d., Brander, L., Ploeg, S. v., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., et al. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 50-61.
- Guinée, J., Gorée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Koning, A. d., et al. (2001). *LCA - An operational guide to the ISO-standards*. Leiden; Delft; Emst; Amsterdam: Leiden University; University of Technology; Bureau B&G; University of Amsterdam.
- Haaren, F. (1951). Kerkhoven als bron van waterverontreiniging. *Water* 35 (16), 167-172.
- Harmelen, T. v., Horssen, A. v., Jongeneel, S., & Ligthart, T. (2012). *Shadow prices of biomass relevant impacts*. Utrecht: TNO.
- Harmelen, T. v., Korenromp, R., Deutekom, C. v., Ligthart, T., Leeuwen, S. v., & Gijlswijk, R. v. (2007). The price of toxicity. Methodology for the assessment of shadow prices for human toxicity, ecotoxicity and abiotic depletion. In G. Huppes, & M. (. Ishikawa, *Quantified Eco-Efficiency* (pp. 105-125). Springer.
- Hesselmans International. (2010). Persoonlijke communicatie.
- IFZW. (2010). Persoonlijke communicatie.
- ISO. (2006). *ISO 14040-44. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework en ISO 14044, 2006: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*. ISO.
- Keijzer, E. (2011). *Environmental impact of funerals. Life cycle assessments of activities after life. (master thesis)*. Groningen: IVEM.
- Keijzer, E. (2013). *BIG overzicht*. Utrecht: TNO interne rapportage.
- Keijzer, E., & Kok, H. (2011). *Milieueffecten van verschillende uitvaartmogelijkheden*. Utrecht: TNO.
- Keijzer, E., Broeke, H. t., & Ansems, A. (2014). *Milieueffecten van verschillende uitvaarttechnieken – update van eerder TNO-onderzoek*. Utrecht: TNO.
- Kullberg, J. (2010). Gepaste afstand. Over ruimtelijke nabijheid van ouders en kinderen. In A. v. Broek, R. Bronneman, & V. Veldheer, *Wisseling van de wacht: generaties in Nederland* (pp. 183-202). Den Haag: Sociaal en Cultureel Planbureau.
- Labouze, E., Guern, Y., & Petiot, C. (2007). *Analyse de cycle de vie comparée d'une chemise en lin et d'une chemise en cotton*. Ivry-sur-Seine: Bio Intelligence Service S.A.S.
- Life Cycle Initiative. (2004). Declaration of Apeldoorn on LCIA of non-ferrous metals. .
- Lima, I., McAloon, A., & Boateng, A. (2008). Activated carbon from broiler litter: Process description and cost of production. *Biomass and bioenergy*, 568-572.
- LOB. (2014). Persoonlijke communicatie.
- Mbuyi-Muamba, J.-M., Dequeker, J., & Gevers, G. (1988). Biochemistry of bone. *Baillière's Clinical Rheumatology*, 63-101.
- Michielin, F., & Mulder, C. (2007). Geographical distances between adult children and their parents in the Netherlands. *Demographic Research*, 655-678.

- MilieuCentraal. (2014). *Wat mag er in het riool?* Retrieved 08 05, 2014, from MilieuCentraal: www.milieucentraal.nl/themas/afval-heb-je-zelf-in-de-hand/afvalscheiding/wat-mag-in-het-riool
- Ministerie van VROM. (2004). *Inspectierichtlijn Lijkbezorging. Handreiking voor de inrichting, technisch beheer en onderhoud van begraafplaatsen, crematoria en opbaargelegenheden. 3e herziene druk.* . VROM Inspectie.
- Molenaar, & al., e. (2009). *Terug naar de natuur. Mogelijke effecten en juridische aspecten t.a.v. natuurbegraven, asverstrooien en urnbijzetting in natuurgebieden.* Wageningen: Alterra.
- Morren. (2010). *Niet al het goud blinkt. Onderzoek naar edelmetalen en chirurgisch staal in crematieas bij Nederlandse en Duitse crematoria* . Landelijke Vereniging van Crematoria.
- NCMS. (2010). *Secondary smelting of non-ferrous metals. Impact, risks, and regulations.* Retrieved 11 30, 2010, from NCMS: <http://ecm.ncms.org/ERI/new/IRRsecsmelt.htm>
- NOVEM, RLB. (2000). *Het minimaliseren van methaanemissies op stortplaatsen. Eindrapport.* NOVEM, RLB.
- Orthometals. (2010). Persoonlijke communicatie.
- Pré Consultants. (2014, 07 25). *SimaPro*. Retrieved 07 25, 2014, from PRé: www.pre-sustainability.com/simapro
- Putten, W. v. (1998, 09 21). *Wat gebeurt er met het goud uit graven?* Retrieved 07 25, 2014, from Uitvaart.nl: www.uitvaart.nl/juridisch/begraven/sieraden-e-a-grafgiften/wat-gebeurt-er-met-het-goud-uit-graven/1214/1214
- Remmerswaal, H., & Heuvel, L. v. (2005). *Lifecycle inventory of obsequies. A comparison of the environmental consequences of various ways of funeral in The Netherlands.* Delft: University of Technology Delft.
- Resomation Ltd. (2014). Persoonlijke communicatie.
- Slooff, W., Beelen, P. v., Annema, J., & Janus, J. (1994). *Basisdocument kwik. Rapportnummer 710401023.* Bilthoven: RIVM.
- Smit, E. (1996). *Massabalans en emissies van in Nederland toegepaste crematieprocessen. TNO MEP R96/095.* Apeldoorn: TNO.
- Steen, P. v., & Pellenbarg, P. (2007, 03). *Ruimte voor de dood.* Retrieved 11 03, 2010, from De Begraafplaats: www.begraafplaats.nl/artikelen_db/224
- Stichting Bouwkwiteit. (2011). *Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken.* Rijswijk: Stichting Bouwkwiteit.
- SVT. (2010). Persoonlijke communicatie.
- Tauw. (2006). *Crematorium Leiden emissieonderzoek 2006. R001-4444100RSA-sbk-V01-NL.* Tauw.
- Thomassen, E., van Os, M., & Jaspers, D. (2012). *Protocol Natuurbegraven.* Natuurbegraafplaats Heidepol.
- Unigra. (2010). Persoonlijke communicatie.
- Veldhuis, S. (2010). Personal communication.
- Welch, & Swerdlow. (2009). *Cryomation Limited - Carbon Trust Incubator - Due Diligence Report.* Oxford: Isis Innovation Limited.
- WHO. (1998). *Assessment of the health risk of dioxins: re-evaluation of the Tolerable Daily Intake (TDI). Executive summary. WHO Consultation May 25-29 1998.* Geneva: WHO European Centre for Environment and Health, International Programme on Chemical Safety.
- Wobma, E., & Bruggink, J.-W. (2012, december 3). *Nederlanders steeds langer maar vooral zwaarder.* Retrieved juli 7, 2014, from CBS: www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/gezondheid-welzijn/publicaties/artikelen/archief/2012/2012-3746-wm.htm
- Yarden. (2014). Persoonlijke communicatie.

8 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever
Natuurbegraven Nederland

Naam en functies van de medewerkers: n.v.t.
Drs. E.E. Keijzer

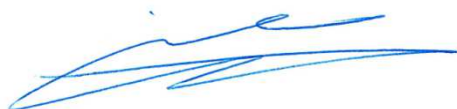
Periode waarin het onderzoek plaatsvond
Oktober 2014 - Oktober 2015

Naam en paraaf tweede lezer

A. J. Horssen E. D. Boukris

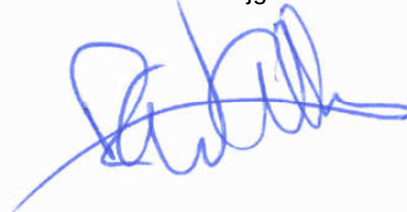
Ir. A. van Horssen (voor review)
E.D. Boukris MSc (na review)

Ondertekening



Ing. B.I. Jansen
Auteur

Autorisatie vrijgave



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

A Milieueffectcategorieën

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

Climate change

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

Ozone depletion

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

Acidification

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

Eutrophication

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

Toxicity

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

Human health damage due to PM₁₀ and ozone

Fine Particulate Matter with a diameter of less than 10 µm (PM₁₀) represents a complex mixture of organic and inorganic substances. PM₁₀ causes health problems as it reaches the upper part of the airways and lungs when inhaled. Secondary PM₁₀ aerosols are formed in air from emissions of sulfur dioxide (SO₂), ammonia (NH₃), and nitrogen oxides (NO_x) among others. The effects of chronic PM exposure on mortality (life expectancy) seem to be attributable to PM_{2.5} rather than to coarser particles.

Particles with a diameter of 2.5–10 µm (PM_{2.5–10}), may have more visible impacts on respiratory morbidity PM has both anthropogenic and natural sources.

Ozone is not directly emitted into the atmosphere, but it is formed as a result of photochemical reactions of NO_x and Non Methane Volatile Organic Compounds (NMVOCs). This formation process is more intense in summer. Ozone is a health hazard to humans because it can inflame airways and damage lungs. Ozone concentrations lead to an increased frequency and severity of humans with respiratory distress, such as asthma and Chronic Obstructive Pulmonary Diseases (COPD). Ozone formation is a non-linear process which depends on meteorological conditions and background concentrations of NO_x and NMVOCs.

Ionizing radiation

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

Land use

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

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

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

Water depletion

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

Mineral resource depletion

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

Fossil fuel depletion

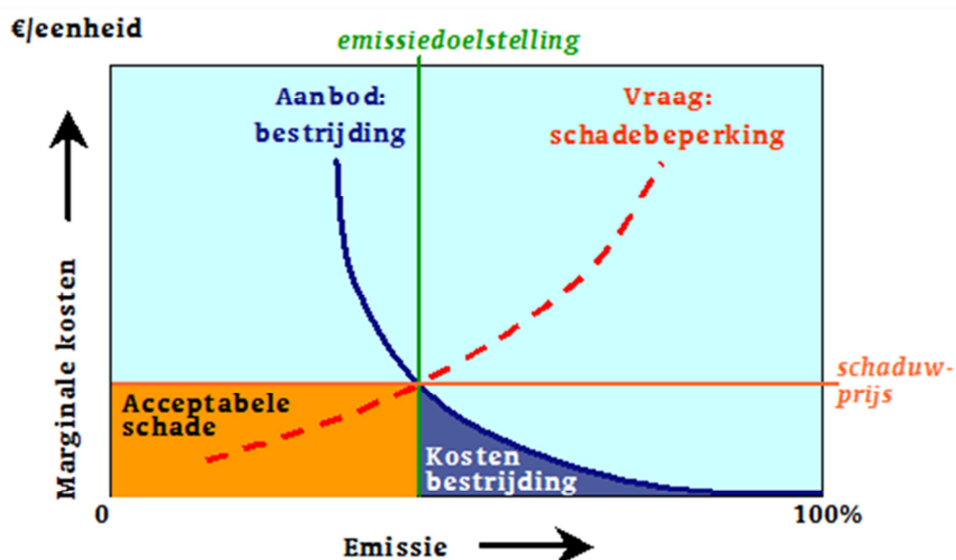
The term fossil fuel refers to a group of resources that contain hydrocarbons, formed from the fossilised remains of dead plants. The group ranges from volatile materials (like methane), to liquid petrol, to non-volatile materials (like coal). As reference resources is chosen: "Oil, crude, feedstock,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

B Schaduwprijzen

Milieukosten zijn externe kosten

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

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

De schaduwprijs heeft een neutrale eenheid (€) waarmee verschillende milieueffecten onder een noemer gebracht kunnen worden. Met behulp van de schaduwrijzenmethode 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 B

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

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

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

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

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

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

NEEDS: New Energy Externalities Developments for Sustainability (NEEDS) -

RS1a Deliverable № 6.1 External 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.

C Input voor de LCA-berekeningen

Deze bijlage bevat alle getallen die zijn gebruikt als input van de LCA-berekeningen. In Tabel 6 en Tabel 7 worden de samenstelling van respectievelijk de menselijke en niet-menselijke materialen behorende bij de overledene opgesomd. Tabel 8 biedt achtergrond voor de berekeningen met het stortplaatsmodel. De gehanteerde getallen met betrekking tot metaalrecycling zijn gegeven in Tabel 9. Tabel 10 gaat over rookgasemissies. Tot slot bieden Tabel 11 tot en met Tabel 14 de specifieke inputgegevens die zijn gebruikt voor de LCA-berekeningen van de drie uitvaarttechnieken.

Naast de genoemde bronnen, zijn de rest van de gepresenteerde gegevens afkomstig van antwoorden op door TNO opgestelde vragenlijsten, door: Yarden, Natuurbegraven Nederland, Orthometals, Genius Loci, Groentotaal de Boer, Unigra B.V., Facultatieve Technologies, IFZW, De Gedenkgroep, SVT, LOB, Honor Piëteitstechniek, Hesselmans International, Funeral Products en Aqua Omega. Minder belangrijke gegevens (bijvoorbeeld hoeveel kleding ongeveer weegt) werden opgezocht op internet.

Een toelichting op de belangrijkste aannames en onderbouwing voor deze getallen en de systeembeschrijving zijn terug te vinden in Hoofdstuk 4.

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

Proces-stap	Begraven van lichaam	Crematieas
Bron:	Forbes (1987), Slooff et al. (2004) & Axelrad et al. (2009)	Smit (1996) [warmestartoven, na vermaling; medianen]
Al	0,06	35
As	0	0,01
Au	<0,01	0,44
Ba	0,02	1,6
Be	<0,0001	
Bo	<0,05	
Br	0,2	
Cd	0,05	0,00
Co	<0,01	0,04
Cr	<0,01	0,40
Cs	<0,01	
Cu	0,07	8,8
Fe	4,2	
I	0,01	
Mn	0,01	7,3
Mo	<0,01	0,03
Ni	0,01	1,8
Pb	0,12	0,06
Ra	<0,0001	
Sb	0	0,03
Se	0	0,00
Si	18	
Sn	<0,02	0,29
Sr	0,32	

Proces-stap	Begraven van lichaam	Crematieas
Te	0	0,00
U	<0,0001	
V	0	0,20
Zn	2,3	2,7
Hg	0,00041	0,0
PCBs	0,000636	
C	16000	
Ca	1100	
Cl	95	11
Fl	2,6	0,02
H	1944	
K	140	
Mg	19	
N	1800	13
Na	100	
O	2556	
P	500	2910
Fosfaten		0,14
S	140	7,2
Totaal (kg)	24,4	3,0

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

Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
Kobaltchroom	0,533	kg	(Orthometals, 2010)
Roestvast staal ¹⁹	0,867	kg	(Orthometals, 2010); een deel hiervan is afkomstig van metalen handgrepen; aanname: 50%
Titanium ²⁰	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 <i>gemiddelde</i> overledene.
Kwik	1,5	g	Tandvullingen (Molenaar & al., 2009)
Katoen	0,8	kg	Kleding; geschat getal op basis van internet
Viscose	0,15	kg	Kleding; geschat getal op basis van internet
Leer	0,36	m ²	Schoenen (Remmerswaal & Heuvel, 2005); uitgedrukt als 1,5 kg wanneer een massagetal vereist was (geschat getal op basis van internet)

¹⁹ Roestvast staal is meegenomen als 63% primair (Steel, converter, chromium steel 18/8, at plant/RER) en 37% secundair (Steel, electric, chromium steel 18/8, at plant/RER)

²⁰ Titanium mist in Ecoinvent, en daarom werd een titanium-record uit de IDEMAT-database gekopieerd en aangepast qua elektriciteit en transport naar Ecoinvent.

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

<i>Element/stof</i>	<i>k-waarde</i>	<i>Bron</i>
Cl	96,55%	(Eggels & Ven, 2000)
SO ₄	34,62%	(Eggels & Ven, 2000)
PO ₄	34,62%	Kopie van SO ₄
As	0,17%	(Eggels & Ven, 2000)
Cd	0,05%	(Eggels & Ven, 2000)
Cr	0,08%	(Eggels & Ven, 2000)
Cu	0,14%	(Eggels & Ven, 2000)
Hg	0,50%	(Eggels & Ven, 2000)
Ni	0,12%	(Eggels & Ven, 2000)
Pb	0,05%	(Eggels & Ven, 2000)
Zn	0,02%	(Eggels & Ven, 2000)
Na	2,00%	Plastic afvalmodel
Ba	0,00%	Plastic afvalmodel
Fe	0,50%	Plastic afvalmodel
Mn	0,00%	Plastic afvalmodel
Sb	0,00%	Plastic afvalmodel
Se	0,00%	Plastic afvalmodel
Zware metalen	1%	Plastic afvalmodel

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

<i>Materiaal</i>	<i>Outputs/ vermeden producten</i>	<i>Hoeveel- heid (kg)</i>	<i>Inputs</i>	<i>Hoeveel- heid (kg)</i>	<i>Berekening/ origine</i>
Chroom	Chromium, at regional storage/RER	0,72	Nickel, secondary, from electronic and electric scrap recycling, at refinery/SE	0,8	Nikkel inputs als proxy. Secundair gehalte: 20% (NCMS, 2010). Voor dit secundair gehalte is 0,2 kg <i>Iron scrap, at plant/RER</i> gemodelleerd.
Kobalt	Cobalt, at plant/GLO	0,612	Nickel, secondary, from electronic and electric scrap recycling, at refinery/SE	0,68	Nikkel inputs als proxy. Secundair gehalte: 32% (NCMS, 2010). Voor dit secundair gehalte is 0,32 kg <i>Iron scrap, at plant/RER</i> gemodelleerd.
Goud	Gold, primary, at refinery/GLO	0,639	Gold, secondary, at precious metal refinery/SE	0,71	Secundair gehalte: 29% (NCMS, 2010). Voor dit secundair gehalte is 0,29 kg <i>Iron scrap, at plant/RER</i> gemodelleerd.
Palladium	Palladium, at regional storage/RER	0,639	Palladium, secondary, at refinery/RER U	0,71	Goud recycling data bij gebrek aan palladium-informatie.
Platina	Platinum, at regional storage/RER	0,756	Platinum, secondary, at refinery/RER	0,84	Secundair gehalte: 16% (NCMS, 2010). Voor dit secundair gehalte is 0,16 kg <i>Iron scrap, at plant/RER</i> gemodelleerd.

Zilver	Silver, at regional storage/RE	0,639	Silver, secondary, at precious metal refinery/SE.	0,71	Goud recycling data bij gebrek aan zilver-informatie.
Roestvast staal	Steel, converter, chromium steel 18/8, at plant/RER	0,567	Steel, electric, chromium steel 18/8, at plant/RER	0,63	Secundair gehalte: 37% volgens Ecoinvent. Voor dit secundair gehalte is 0,37 kg <i>Iron scrap</i> , at <i>plant/RER</i> gemodelleerd.
Staal	Steel, converter, unalloyed, at plant/RER	0,567	Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER	0,63	Secundair gehalte: 37% volgens Ecoinvent. Voor dit secundair gehalte is 0,37 kg <i>Iron scrap</i> , at <i>plant/RER</i> gemodelleerd.
Titanium	Titanium ²¹	0,61	Aluminium, secondary, from old scrap, at plant/RER	0,678	
Zink	Zinc, primary, at regional storage/RER	0,657	Lead, secondary, at plant/RER	0,73	Secundair lood als proxy; Secundair gehalte: 27% (NCMS, 2010). Voor dit secundair gehalte is 0,37 kg <i>Iron scrap</i> , at <i>plant/RER</i> gemodelleerd.

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

<i>Emissie naar de lucht</i>	<i>Hoeveelheid</i>	<i>Eenheid</i>	<i>Opmerking</i>
CO ₂ , biogeen	40	g/m ³	Welch & Sverdlow (Welch & Sverdlow, 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). Dit is allemaal als biogene CO ₂ gerekend.
SO ₂	32	mg/m ³	(Facultatieve Technologies, 2010)/ (Tauw, 2006)
CO	19	mg/m ³	(Facultatieve Technologies, 2010)/ (Tauw, 2006)
NO _x	410	mg/m ³	(Facultatieve Technologies, 2010)/ (Tauw, 2006)
Dioxines (PCDD & PCDFs)	0,05	ng/m ³	(Facultatieve Technologies, 2010)/ (Tauw, 2006)
Kwik	0,005	mg/m ³	(Facultatieve Technologies, 2010)/ (Tauw, 2006)
Koolwaterstoffen	2	mg/m ³	(Facultatieve Technologies, 2010)/ (Tauw, 2006)
Waterstofchloride	5	mg/m ³	(Facultatieve Technologies, 2010)/ (Tauw, 2006)

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

<i>Materiaal/Proces</i>	<i>Ecoinvent-record</i>	<i>Hoeveelheid</i>	<i>Eenheid</i>	<i>Opmerking</i>
Lijkhoes		22%		(Hesselmans International, 2010)
Katoen	Textile, woven cotton, at plant/GLO	0,490	kg	(Unigra, 2010) gaf als materiaalspecificatie alleen "biologisch afbreekbaar". Aanname: katoen.
Kist				
Vurenhout	Sawn timber, softwood,	30	kg	(Unigra, 2010): 30 kg. Dichtheid: circa 580 kg/m ³

²¹ Titanium mist in Ecoinvent, en daarom werd een titanium-record uit de IDEMAT-database gekopieerd en aangepast qua elektriciteit en transport naar Ecoinvent.

<i>Materiaal/ Proces</i>	<i>Ecoinvent-record</i>	<i>Hoeveel- heid</i>	<i>Een- heid</i>	<i>Opmerking</i>
	planed, kiln dried, at plant/RER U			(internet).
Zaagsel	Sawdust, Scandinavian softwood (plant-debarked), u=70%, at plant/NORDEL	0,2	kg	Kussen, aannames.
Katoen	Textile, woven cotton, at plant/GLO	1,8	kg	Bekleding. (Unigra, 2010)
Zachthout	Sawn timber, softwood, planed, air dried, at plant/RER	0,00157	m ³	Houten handgrepen; 1,1 kg (Unigra, 2010).
Graven				
Graven	Excavation, hydraulic digger/RER	3,68	m ³	Kuilafmetingen = 1,00 x 2,30 meter; gemiddelde diepte = 0,8 m (LOB, 2014); open sluiten, daarom vermenigvuldigd met 2.
Lift				
Roestvast staal	RVS ¹⁹	88,5% 0,005	kg	(Yarden, 2014) 50 kg voornamelijk roestvast staal (internet); aannname 10000x gebruikt.
Recycling roestvast staal	Zie Tabel 9	0,005	kg	
Monument				
Natuursteen	Natural stone plate, cut, at regional storage/CH	66% 137	kg	(LOB, 2014) 50% stenen dekplaat; bedekt 67.5% van een graf (Yarden, 2014) van 120 x 250 cm; stel 5 cm dik = 0,101 m ³ ; dichtheid circa 2700 kg/m ³ = 273 kg (x 50% = 137)
Beton	Concrete, sole plate and foundation, at plant/CH	0,0168	m ³	Fundering, 80 kg (De Gedenkgroep, 2010), 2385 kg/m ³ , ook vermenigvuldigd met 50%
Elektriciteit	Electricity, low voltage, at grid/NL U	1	kWh	Voor graveren (Remmerswaal & Heuvel, 2005)
Transport, vrachtauto	Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER	173	tkm	Gemiddelde afstand op basis van (LOB, 2014). Geen boottransport.
Grafrust				
Water	Tap water, at user/RER	31,6	kg	Circa 10 m ³ per jaar per begraafplaats à 8637 personen gemiddeld (Yarden, 2014)
Benzine ²²	Power sawing, without catalytic converter/RER U	0,79	hr	Circa 500 liter per begraafplaats per jaar voor bladblazer, grasmachine, bosmaaier, kettingzaag (Yarden, 2014); vermenigvuldigd met aantal jaren, gedeeld door het aantal begraven personen. Input als kettingzaag als proxi voor verbruik, met verbruik van ~2 l/h
Diesel	Diesel, burned in building machine/GLO U	35,7	MJ	300 liter per jaar per begraafplaats (Yarden, 2014); idem bovenstaande. Input als building machine als proxi voor verbruik,
Graszaad	Grass seed IP, at	0,006	kg	2 kg per jaar per begraafplaats (Yarden, 2014);

²² Groentotaal de Boer suggereerde dat deze benzine "Aspen" is, een specifieke laag-benzeen-, laag-tolueen- en laag-zwavelhoudende benzine, die niet bestaat in Ecoinvent of de andere beschikbare databanken; laagzwavelige benzine kwam het dichtst in de buurt en is dus gebruikt.

<i>Materiaal/ Proces</i>	<i>Ecoinvent-record</i>	<i>Hoeveelheid</i>	<i>Eenheid</i>	<i>Opmerking</i>
Begraven van lichaam	regional storehouse/CH Zie Tabel 6 en Tabel 8	24,5	kg	idem bovenstaande.
Normaal afval	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH	4,17	kg	Begraven van viscose kleding & kunstgebit.
Biologisch afbreekbaar afval	Composting organic waste/RER	41,9	kg	Begraven van kist, kussen, lijkhoes, katoenen kleding, schoenen, kistbekleding en houten handgrepen.
Landgebruik	Occupation, urban, green areas	273	m ² a	10 m ² per persoon, vermenigvuldigd met gemiddelde grafrust (27,3 jaar, zie 4.2).
Verwijdering				
Graven	Excavation, hydraulic digger/RER	3,68	m ³	Open & sluiten graf
Graven	Excavation, hydraulic digger/RER	3,68	m ³	Open & sluiten verzamelgraf, 20 liter volume (Genius Loci, 2010) maar aantal personen is onbekend; daarom zelfde hoeveelheid graafwerk gerekend als voor gewoon graf. Geen extra landgebruik voor verzamelgraf meegerekend omdat de berekening hierboven reeds de complete begraafplaatsoppervlakte per persoon rekent
Transport, vrachtauto	Transport, lorry 3.5-16t, fleet average/RER	1,16	tkm	Verwijdering van steen en fundering, transport van 10 km (aanneme)
Recycling van steen	Natural stone plate, cut, at regional storage/CH	123	kg	Recyclingsefficiëntie van 90% verondersteld; 90% steen als vermeden product, 10% als overig normaal afval gemodelleerd
Normaal afval	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH	40,1	kg	Fundering + 10% steenverliezen
Recycling van metalen	n.v.t.			Zie toelichting aan het eind van par. 4.2

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

<i>Materiaal/ Proces</i>	<i>Ecoinvent-record</i>	<i>Hoeveelheid</i>	<i>Eenheid</i>	<i>Opmerking</i>
Voorbereiding				
Recycling roestvast staal	Zie Tabel 9	0	Kg	Metalen handgrepen
Recycling zink	Zie Tabel 9	0	Kg	Ornamenten
Crematieproces				
Roestvast staal	RVS ¹⁹	0,12	Kg	Levensduur oven: 25000 crematies (Facultatieve Technologies, 2010) 3000 kg (Facultatieve Technologies, 2010) & (IFZW, 2010)
Elektronische componenten	Electronic component, unspecified, at plant/GLO	0,01	Kg	250 kg (Facultatieve Technologies, 2010) & (IFZW, 2010)

Materiaal/ Proces	Ecoinvent-record	Hoeveel- heid	Een- heid	Opmerking
Bakstenen	Refractory, fireclay, packed, at plant/DE	0,4	Kg	10000 kg (Facultatieve Technologies, 2010)
Aardgas	Natural gas, burned in industrial furnace >100kW/RER	1760	MJ	50 m ³ (Yarden, 2014)
Eindbehandeling van machine	Disposal, industrial devices, to WEEE treatment/CH	0,13	Kg	Staal + elektronische componenten
Normaal afval	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH	0,4	Kg	Dump van bakstenen
Elektriciteit	Electricity, low voltage, at grid/NL U	30	kWh	(IFZW, 2010) en (SVT, 2010)
Rookgas- reiniging				Levensduur installatie = 25000x
Water	Tap water, at user/RER	0,08	kg	2000 liter (Facultatieve Technologies, 2010)
Ethyleenglycol	Ethylene glycol, at plant/RER	0,022	kg	500 liter glycol (Facultatieve Technologies, 2010), dichtheid 1,11 kg/L.
Roestvast staal	RVS ¹⁹	0,416	kg	10400 kg (Facultatieve Technologies, 2010)
Koper	Copper, primary, at refinery/RER	0,078	kg	1950 kg (Facultatieve Technologies, 2010)
PVC	Polyvinylchloride, at regional storage/RER	0,026	kg	650 kg andere materialen (Facultatieve Technologies, 2010)
Actieve kool	Zie Tabel 13.	0,5	kg	(Facultatieve Technologies, 2010)
Rookgasreiniging emissies	Zie Tabel 10	2500	m ³	Volume van (Appelman & Kok, 2005)
Elektriciteit	Electricity, low voltage, at grid/NL U	25	kWh	(Facultatieve Technologies, 2010) & (IFZW, 2010)
Eindbehandeling van machine	Disposal, industrial devices, to WEEE treatment/CH	0,52	kg	
Cremulator				Levensduur cremulator = 25000x
Roestvast staal	RVS ¹⁹	0,011	kg	300 kg (DFW, 2010); aanname: 275 kg staal en 25 kg electronica;
Elektronische componenten	Electronic component, unspecified, at plant/GLO	0,001	kg	Zie boven
Elektriciteit	Electricity, low voltage, at grid/NL U	1	kWh	(IFZW, 2010) & (SVT, 2010)
Eindbehandeling van machine	Disposal, industrial devices, to WEEE treatment/CH	0,012	kg	300 kg (DFW, 2010)
Scheiding				
Recycling van metalen	Zie Tabel 7 en Tabel 9			
Asbus				
PVC	Polyvinylchloride, at regional storage/RER	0,5	kg	Volgens Urnwinkel.nl (2010) meestal van PVC.

Materiaal/ Proces	Ecoinvent-record	Hoeveel- heid	Een- heid	Opmerking
Normaal afval	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH	0,5	kg	
Verstrooien boven land		75%		
Benzine	Power sawing, without catalytic converter/RER U	0,541	hr	400 liter per ha per jaar (zelfde als voor begraafplaats). Input als kettingzaag als proxi voor verbruik, met verbruik van ~2 l/h 50 kg per ha per jaar (zelfde als voor begraafplaats)
Graszaad	Grass seed IP, at regional storehouse/CH	0,135	kg	
Landgebruik	Occupation, urban, green areas	2,7	m²a	
Transport, personenauto	Transport, passenger car, petrol, fleet average 2010/RER	120	pers.k m	
Bodemcontaminatie door crematieas	Zie Tabel 6 en Tabel 8.	3	kg	
Verstrooien boven zee		20%		
Transport, personenauto	Transport, passenger car, petrol, fleet average 2010/RER	18	pers.k m	(Aqua Omega, 2010)
Transport, schip	Transport, barge/RER	0,01	tkm	(Aqua Omega, 2010)
Zeecontaminatie door crematieas	Zie Tabel 6.	3	kg	
Bewaren in urn		5%		
Keramiek	Sanitary ceramics, at regional storage/CH	0,25	kg	2,5 kg, 10% marktaandeel (Funeral Products, 2010)
Messing	Brass, at plant/CH	2,4	kg	3 kg, 80% marktaandeel (Funeral Products, 2010)
Glas	Packaging glass, brown, at regional storage/CH	0,25	kg	2,5 kg, 10% marktaandeel (Funeral Products, 2010)
Normaal afval	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH	2,9	kg	Urn weggegooid na gebruik.
Bodemcontaminatie door crematieas	Zie Tabel 6.	3	kg	
Transport, personenauto	Transport, passenger car, petrol, fleet average 2010/RER	120	pers.k m	

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

<i>Materiaal/ Proces</i>	<i>Ecoinvent-record</i>	<i>Hoeveel- heid</i>	<i>Een- heid</i>	<i>Opmerking</i>
Koolstof	Carbon	1	kg	Wet van behoud van massa (geen betere

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

Tabel 14 Inputgegevens voor de berekeningen van natuurbegraven van één persoon. In principe komen alle data van Natuurbegraven Nederland, tenzij anders aangegeven.

<i>Materiaal/ Proces</i>	<i>Ecoinvent-record</i>	<i>Hoeveel-heid</i>	<i>Een-heid</i>	<i>Opmerking</i>
Kist				
Vuren hout/ Populieren hout	Sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant/RER U	30	kg	(Unigra, 2010): 30 kg. Dichtheid: circa 580 kg/m ³ (internet).
Zaagsel	Sawdust, Scandinavian softwood (plant-debarked), u=70%, at plant/NORDEL	0,191	kg	Kussen, aannames, 0,2 kg. Aandeel 95,5%
Katoen	Textile, woven cotton, at plant/GLO	1,8	kg	Bekleding 1,8 kg. (Unigra, 2010).
Zachthout	Sawn timber, softwood, planed, air dried, at plant/RER	0,00157	m ³	Houten handgrepen; 1,1 kg (Unigra, 2010). Aandeel 100%, aanname.
Graven				
Graven	Excavation, hydraulic digger/RER	6	m ³	Kuilaftmetingen = 1 x 2,5 meter; gemiddelde diepte = 1,2 meter; open sluiten, daarom vermenigvuldigd met 2.
Lift				
Roestvast staal	RVS ¹⁹	7,5% 0,005	kg	(Yarden, 2014) 50 kg voornamelijk roestvast staal (internet); aanname 10000x gebruikt.
Recycling roestvast staal	Zie Tabel 9	0,005	kg	
Monument				
Boomschijf	Sawn timber, softwood, raw, forest-debarked, u=70%, at plant/RER U	99% 6,73	Dm ³	(NB, 2014) 35 cm diameter, 7 cm dikte, (NB, 2014)
Elektriciteit	Electricity, low voltage, production NL, at grid/NL	1,67	kWh	20kW frees machine, 5 minuten, (NB, 2014)
Transport	Transport, van <3.5t/RER U	1,89	Kgkm	700 kg/m ³ dichtheid, 400 meter, aanname
Grafrust				
Begraven van lichaam	Zie Tabel 6 en Tabel 8	24.5	kg	

<i>Materiaal/ Proces</i>	<i>Ecoinvent-record</i>	<i>Hoeveel- heid</i>	<i>Een- heid</i>	<i>Opmerking</i>
Biologisch afbreekbaar afval	Composting organic waste/RER	45,2	kg	Begraven van kist, kussen, lijkhoes, katoenen kleding, schoenen, kistbekleding en houten handgrepen.
Inert afval	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH S	3,1	Kg	Begraven van protheses en inwendige metalen.
Landgebruik	Occupation of land - forest	23,4	m ² a	23,4 m ² per persoon, vermenigvuldigd met grafrust (1 jaar, zie 4.4).
Natuuronderhoud	Power sawing, without catalytic converter/RER U	0,8	Uur	60 liter brandstof per jaar voor natuuronderhoud, ~2 liter brandstof/uur, 7250 personen

D Resultaten uitgedrukt in schaduw prijzen

Schaduw prijzen in de verschillende effectcategorieën voor de belangrijkste processtappen van de uitvaarttechnieken. Voor een uitleg van deze categorieën, zie Bijlage A. Zoutwater ecotoxiciteit, uitputting van mineralenvoorraden en uitputting van fossiele voorraden zijn weggelaten omdat voor deze effecten een schaduw prijs van nul Euro is gehanteerd.

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

Processtap	Klimaatverandering	Aantasting ozonlaag	Humane toxiciteit	Smogvorming	Fijnstofvorming	Ioniserende straling	Verzuring	Vermesting (zoetwater)	Vermesting (zoutwater)	Terrestrische ecotoxiciteit	Zoutwater ecotoxiciteit	Landgebruik (landbouw)	Landgebruik (stedelijk)	Landtransformatie (natuur)	Uitputting watervoorraden
<i>Conv. Begraven</i>															
Lijkhoes	0,07	0,00	0,01	0,01	0,38	0,01	0,02	0,00	0,07	0,01	0,00	0,11	0,00	0,00	0,59
Kist	1,36	0,00	0,19	0,14	7,22	0,35	0,30	0,01	1,28	0,19	0,02	15,1	0,19	0,00	9,82
Graven	0,05	0,00	0,00	0,02	0,40	0,00	0,01	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lift	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Monument	1,60	0,00	0,11	0,36	9,49	1,71	0,23	0,00	2,54	0,01	0,00	0,03	0,09	0,00	0,78
Grafrust	0,52	0,00	0,05	0,32	0,95	0,01	0,03	0,31	0,42	0,01	0,00	0,16	25,6	0,00	0,05
Verwijdering	-1,30	0,00	-0,47	-0,13	-5,28	-1,47	-0,15	-0,02	-0,95	-0,01	-0,01	-0,06	-0,03	0,00	-0,70
<i>Cremeren</i>															
Lijkhoes	0,07	0,00	0,01	0,01	0,38	0,01	0,02	0,00	0,07	0,01	0,00	0,11	0,00	0,00	0,59
Kist	1,36	0,00	0,19	0,14	7,22	0,35	0,30	0,01	1,28	0,19	0,02	15,1	0,19	0,00	9,82
Voorbereiding	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Proces	3,65	0,00	0,37	0,10	2,55	0,19	0,09	0,02	0,57	0,01	0,01	0,04	0,02	0,00	0,14
Rookgasreiniging	0,57	0,00	0,29	0,63	13,6	0,14	0,44	0,01	5,15	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,12
Behandeling van overblijfselen	-1,26	0,00	-2,05	0,08	-6,31	-0,13	-0,31	0,30	-0,44	0,02	-0,05	0,03	0,17	0,00	-0,33
<i>Natuurbegraven</i>															
Verwijdering	-0,10	0,00	-2,22	-0,04	-4,99	-0,04	-0,29	-0,11	-0,19	0,00	-0,05	-0,01	-0,04	0,00	-0,10
Lijkhoes	0,07	0,00	0,01	0,01	0,38	0,01	0,02	0,00	0,07	0,01	0,00	0,11	0,00	0,00	0,59
Kist	1,36	0,00	0,19	0,14	7,22	0,35	0,30	0,01	1,28	0,19	0,02	15,1	0,19	0,00	9,82
Graven	0,08	0,00	0,00	0,03	0,66	0,01	0,02	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Lift	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Monument	0,04	0,00	0,00	0,00	0,08	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	1,32	0,01	0,00	0,01
Grafrust	0,33	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,31	0,06	0,00	0,00	2,21	0,00	0,00	0,00

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

Processtap	Schaduwprijs per overledene (€)
<i>Lijkhoes (22%)</i>	
Katoen	1,28
<i>Kist</i>	
Vurenhouten kist	14,40
Kussen	0,03
Bekleding	21,34
Houten handgrepen	0,42
<i>Graven</i>	
Graven	0,60
<i>Lift (88,5%)</i>	
Roestvast staal	0,01
Recycling roestvast staal	0,00
<i>Monument (66%)</i>	
Natuursteen	8,36
Elektriciteit voor graveren	0,04
Transport, vrachtauto	8,33
Beton	0,21
<i>Grafrust</i>	
Water	0,04
Benzine	1,08
Diesel	1,01
Graszaad	0,01
Vertering van lichaam	0,70
Gewoon afval	0,01
Biologisch afval	0,00
Landgebruik	28,51
<i>Verwijdering</i>	
Recycling & stort materialen (alg. graf)	-2,36
Recycling & stort materialen part. graf)	-2,04
Graven, graf	0,60
Graven, verzamelgraf	0,60
Transport, vrachtauto	0,09
Afval (fundering)	0,05
Recycling steen	-7,51

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

Processtap	Schaduwprijs per overledene(€)
<i>Lijkhoes (22%)</i>	
Katoen	1,28
<i>Kist</i>	
Vurenhouten kist	14,40
Kussen	0,03
Bekleding	21,34
Houten handgrepen	0,42
<i>Vorbereiding</i>	
Recycling roestvast staal	0,00
Recycling zink	0,00
<i>Proces</i>	
Roestvast staal	0,17
Elektronische componenten	0,84
Bakstenen	0,05
Eindbehandeling van machine	0,00
Elektriciteit	1,64
Gewoon afval	0,00
Aardgasverbranding	5,05
<i>Rookgasreiniging</i>	
Water	0,00
Ethyleenglycol	0,00
Roestvast staal	0,59
Koper	0,26
PVC	0,00
Actieve kool	0,16
Rookgasreinigingemissies	18,58
Elektriciteit	1,41
Eindbehandeling van machine	0,01
<i>Behandeling van overblijfselen</i>	
Cremulator	0,15
Recycling metalen	-14,30
Asbus	0,09
As vestrooien boven land	2,85
As vestrooien boven zee	0,28
As bewaren in urn	0,63

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

Processtap	Schaduwprijs per overledene (€)
<i>Verwijdering</i>	
Recycling metalen	-8,19
<i>Lijkhoes (22%)</i>	
Katoen	1,28
<i>Houten Kist</i>	
Vurenhouten kist	14,40
Kussen	0,03
Bekleding	21,34
Houten handgrepen	0,42
<i>Graven</i>	
Graven	0,97
<i>Lift (7,5%)</i>	
Roestvast staal	0,00
Recycling roestvast staal	0,00
<i>Monument (99%)</i>	
Boomschijf	1,41
Elektriciteit voor graven	0,09
Transport, bestelbus	0,00
<i>Grafrust</i>	
Natuuronderhoud	0,01
Vertering van lichaam	0,70
Inert afval	0,01
Biologisch afval	0,00
Landgebruik	2,20

E Review LCA Natuurbegraven NIBE

Hieronder is de review weergegeven zoals deze door NIBE is uitgevoerd. De reactie van TNO is daarbij in [blauw](#) weergegeven.

REVIEW LCA NATUURBEGRAVEN

Van: Michiel Haas, Rick Scholtes en Kamiel Jansen

Datum: 23-02-2015

Betreft: Review LCA rapport Natuurbegraven

1. Inleiding

In deze review zijn de bevindingen opgenomen over het TNO-rapport: 'Milieueffecten verschillende uitvaartmogelijkheden (14-11-2014)'. De eerste bevindingen zijn op donderdag 12 februari 2015 besproken met TNO, deze bespreking vond plaats aan de hand van de volgende eerder verstuurde documenten:

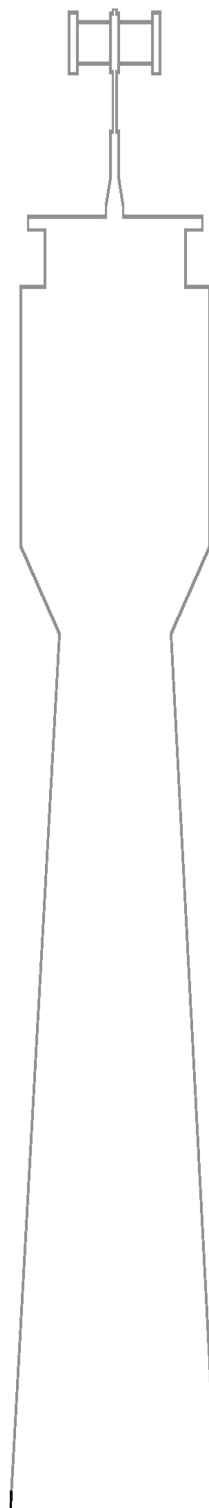
- 25.017.150209 - Bevindingen KJ op LCA rapport Natuurbegraven;
- het TNO-rapport: 'Milieueffecten verschillende uitvaartmogelijkheden. Met in de PDF geplaatste opmerkingen van het NIBE;
- 25.017.150209 - Toetsingsprotocol opgesteld door het NIBE.

De opmerkingen uit het PDF document zijn opgenomen in Bijlage A.. De toetsingstabel waaraan we de LCA rapportage hebben getoetst is te vinden in Bijlage B.

2. Reproduceerbaarheid

Het LCA onderzoek was niet reproduceerbaar, de volgende problemen traden op tijdens het reproduceren:

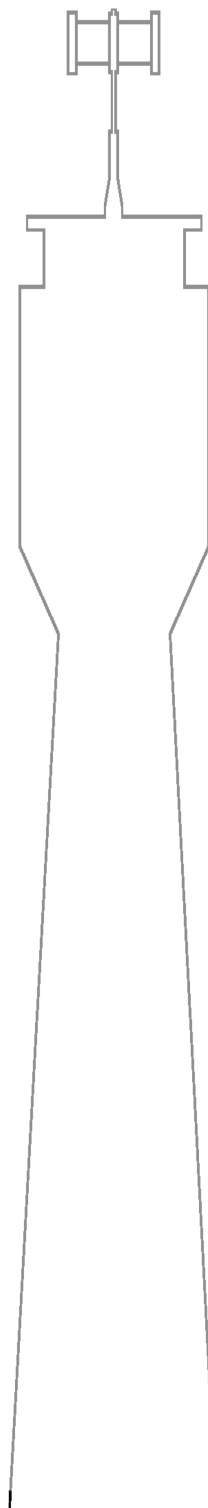
- Nieuwe versie van ReCiPe methode, de gebruikte methode is ReCiPe Midpoint (H) v1.04. Onze Simapro heeft alleen een nieuwere versie: ReCiPe Midpoint (H) v1.06.
 - o [Hiervoor is gekozen om zoveel mogelijk aan te sluiten bij eerdere studies.](#)
- Er zijn verkeerde profielen aangehouden in Simapro (zie opmerkingen in het rapport, bijlage C), ook zijn er eigen profielen en profielen uit andere databases aangehouden waar wij niet over beschikken (zie opmerking in het rapport, bijlage C).
 - o [De verkeerde profielen zijn aangepast, dit resulteert in wijzigingen in resultaten ten opzichte van de vorige studies.](#)
 - o [De profielen uit andere studies en uit andere databases zijn gebruikt, omdat deze in de ecoinvent database niet voorhanden zijn. Daar waar het andere studies betreffen zijn zoveel mogelijk de literatuurbronnen vernoemd. De andere databases zijn gebruikt om leegtes te voorkomen, zodat wel een eerste inschatting gemaakt kon worden of dit een belangrijke bijdrage levert.](#)



- Het aangehouden recyclingsproces voor de diverse metalen is niet duidelijk omschreven en er ontbreken ook gegevens over de aangehouden recyclingsprocessen. Hierdoor is dit proces niet te reproduceren en vermoedelijk heeft het wel veel invloed op de aangehouden positieve milieueffecten. Het is niet duidelijk of er is door gemodelleerd tot een economisch omslagpunt.
 - o De beschrijving in paragraaf 2.2.4 is aangepast zodat het duidelijker is voor de lezer. Er is geen gebruik gemaakt van een economisch omslagpunt, maar van de algemeen bekende marktmixen van metalen (verhouding primair/secundair).
- Voor het omrekenen van de uitkomsten van de ReCiPe midpoint methode naar schaduw prijzen kon ik niet al de bronnen vinden, hierdoor kon ik niet vinden of de in tabel 2 genoemde waardes allemaal kloppen.
 - o De schaduw prijzen zijn grotendeels gebaseerd op de standaard schaduw prijzen zoals voorgesteld in het Handboek Schaduw prijzen. Dit is ook vermeld bij de tabel. De schaduw prijzen voor land- en watergebruik zijn berekend in een project van TNO voor een klant en zijn gedocumenteerd in een niet-openbaar rapport. Helaas kan hier geen inzage in gegeven worden. We zijn bezig met een publicatie hierover maar helaas is die nog niet definitief. Wel kunnen we een korte toelichting geven op de gehanteerde schaduw prijzen:
 - De schaduw prijs voor landgebruik is gebaseerd op twee belangrijke papers over ecosystem services (Costanza, et al., 1997) en (Groot, et al., 2012)), die de economische waardes en oppervlaktes van de ecosysteemdiensten van de biomen van de wereld in kaart hebben gebracht. De schaduw prijs van land hebben wij berekend door de terrestrische biomen bij elkaar op te tellen en te middelen aan de hand van de oppervlaktes, waarna we de dollars in hedendaagse euro's omgerekend hebben. Dit levert een waarde op van 0,094 euro/m²a.
 - De waarde voor landoccupatie is vervolgens omgerekend naar een schaduw prijs voor landtransformatie, veronderstellende dat een ecosysteem circa 50 jaar nodig heeft om te herstellen²³. De schaduw prijs voor landtransformatie is daarom $0,094/50 = 0,0019$ euro/m².
 - De schaduw prijs voor water is gebaseerd op een analyse van verschillende methodes van schaduw prijsberekening. Zowel met een damage-oriented approach als met een benadering van preventiekosten, komen de schadewkosten voor watergebruik in een gemiddeld scenario (uitzonderingen daargelaten, dus) uit op circa 1 euro/m³.
- Voor de gebruikte database is Ecoinvent gebruikt. In het rapport worden echter twee Ecoinvent genoemd V2.2 (pagina 2) en versie V2 (pagina 10)
 - o De correcte en complete versie V.2.1
- Tabellen zijn niet rechtstreeks vanuit Simapro afkomstig maar er wordt een tussenstap gemaakt in Excel, door deze tussenstap zijn de uitkomsten ook lastiger te controleren.
 - o De tabellen in het rapport zijn naar Excel gekopieerd, om de bewerking te maken (kleur effecten), de waardes zijn exacte kopieën. Voor de grafieken zijn

²³ Hierover zijn diverse bronnen beschikbaar. Beweringen over de herstelperiode verschillen van enkele jaren tot oneindig lang, waarbij de meeste bronnen waardes opgeven tussen de 10 en 200 jaar. Wij hebben niet het midden gekozen (100 jaar) omdat dit een periode is die te lang is om beleid op te voeren, maar we wilden ook niet te laag inschatten, omdat dit ecologisch niet realistisch is. 50 jaar is dus het compromis tussen beleidsmatig haalbaar en ecologisch te verantwoorden.

andere doorsneden gemaakt, om verschillende delen van de processen te kunnen laten zien. Dit zijn bewerkingen die het beste te maken zijn in Excel. Excel.



3. Landgebruik grafrust

Landgebruik tijdens grafrust bij natuurbegraven:

Voor het landgebruik wordt nu het volgende aangehouden:

- Oppervlakte: 23,4 m² per persoon,
- Duur: 20 jaar lang,
- Proseskaart: Occupation of land - forest

Hiermee komt het totale landgebruik op 468 m²a.

Als onderbouwing van de 20 jaar is het volgende aangehouden (p 29):

'er is berekend hoe lang het zou duren om de natuurbegraafplaats volledig bezet te krijgen indien uitgegaan wordt van één begrafenis per dag. Met een capaciteit van 7250 uitvaarten voor deze begraafplaats komt dit neer op ongeveer 19 jaar en 10 maanden.'

Dit is verderop als volgt genuanceerd (p 29):

'Ook hierbij is nuancering op zijn plaats; er valt zowel wat te zeggen voor een kortere grafrusttermijn (bijvoorbeeld alleen de dag van de begrafenis zelf, want daarna is het land weer gewoon natuur) als ook voor een langere grafrusttermijn (want de stichting Natuurbegraven beheert de begraafplaats voor een oneindige periode, waarin het land bijvoorbeeld niet gebruikt kan worden om de bevolking te voeden of huisvesten).'

Er wordt geredeneerd dat de duur van de occupation, de tijd is dat het stuk landgebruik niet gebruikt kan worden voor een andere functie. In bijlage A op pagina 54 staat het volgende over het milieueffect landgebruik:

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

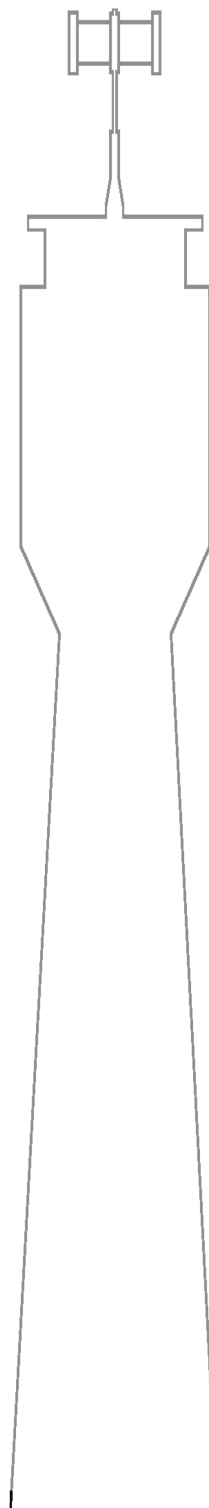
- 1. occupation of a certain area of land during a certain time;*
- 2. transformation of a certain area of land.*

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

Hieruit is te redeneren dat de aangehouden periode voor het effect landgebruik niet gaat over de periode dat het stuk land niet gebruikt kan worden voor een andere functie, maar dat het gaat om de periode dat er schade optreedt aan het ecosysteem en hoe lang het duurt voordat deze schade hersteld wordt.

Bij de grafrust periode van de natuurbegravingen treedt er misschien schade op aan het ecosysteem, deze is echter geprobeerd om zo klein mogelijk te houden, zodat de schade weer snel hersteld. Hierover zijn verschillende onderdelen in het protocol (Protocol natuurbegraven Heidepol, document nummer 201205111) opgenomen:

- Strengere regels over grafmarkering, alleen tijdelijke en markeringen van natuurlijke aard(hoofdstuk 2,4, pagina 10),



- Delven van het natuurgraf, de humuslaag wordt onbeschadigd van de grond afgescheept en na de ceremonie wordt hij weer opgebracht. Het graf wordt verder aangevuld met de grond van de opgraving (hoofdstuk 2,7 en 2,9, pagina 11),.
- Kleinschalige en ingetogen ceremonie (hoofdstuk 2,8, pagina 11),.

Met deze gegevens uit het protocol is het volgens mij onderbouwd dat er geen of minimale schade aan het ecosysteem optreedt, als worstcase benadering zou daarom een periode van 1 jaar aangehouden kunnen worden voor het herstel van de eventuele schade aan het landschap/ecosysteem.

Met de aanname van een periode van 1 jaar is het totale landgebruik 23,4 m²/a.

De schaduwkosten per m²/a is € 0,094. Volgens de Schaduwprijs ReCiPe [€/eq]

Indien het landgebruik op deze manier zou worden uitgevoerd. Is de totale milieu-impact van natuurbegraven: € 34,41 waarmee de totale schaduwprijs lager is dan de schaduwprijs van conventioneel begraven (€64,-) en cremieren (€38).

Naar aanleiding van de discussie met het NIBE tijdens de bespreking van de review is de voorgestelde waarde van 1 jaar overgenomen. Wel blijkt (uit de gevoeligheidsanalyse) dat dit een belangrijke parameter is voor de hoeveelheid landgebruik voor natuurbegraven. Er dient bij het interpreteren van de resultaten dan ook rekening gehouden te moeten worden met dit gegeven, zeker als de geaggregeerde resultaten bekeken worden.

3.1 Landgebruik in de TWIN-methode

Er is in de gevoeligheidsanalyse gebruik gemaakt van een andere methode om landgebruik te kwantificeren, de SOM methode. Hiermee lijkt wederom aangegeven te worden dat er nog geen eenduidige methode is om landgebruik te kwantificeren en blijkt dit dus een gevoelige effectcategorie.

Om te onderzoeken wat de grote is van het milieueffect landgebruik, is er voor gekozen om dit effect ook door te rekenen met de TWIN methode. De substance kaarten voor landgebruik die in het TNO rapport worden aangehouden worden echter met 0 gekarakteriseerd in de TWIN-landgebruik methode (Eco-indicator 99). De gebruikte substance kaarten zijn:

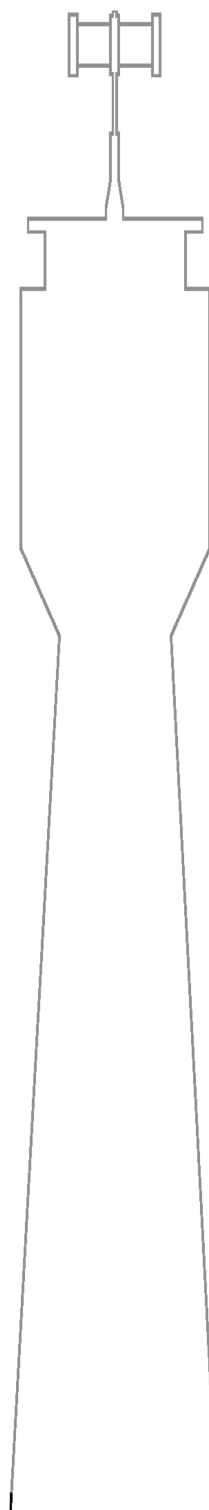
- substance (Occupation, urban, green areas (Conventioneel begraven);
- Occupation of land – forest (Natuurbegraven)

Wel zijn er alternatieve kaarten die die in de Eco-indicator 99-methode worden meegenomen en die in de buurt komen. Door de beperkte keuze aan profielen, lijken de volgende twee profielen het best in de buurt te komen:

Natuurbegraven:

Nederlandse bos (f;7;7;12;15) met een waarde van: 0,11 PDF*m2yr / m2y

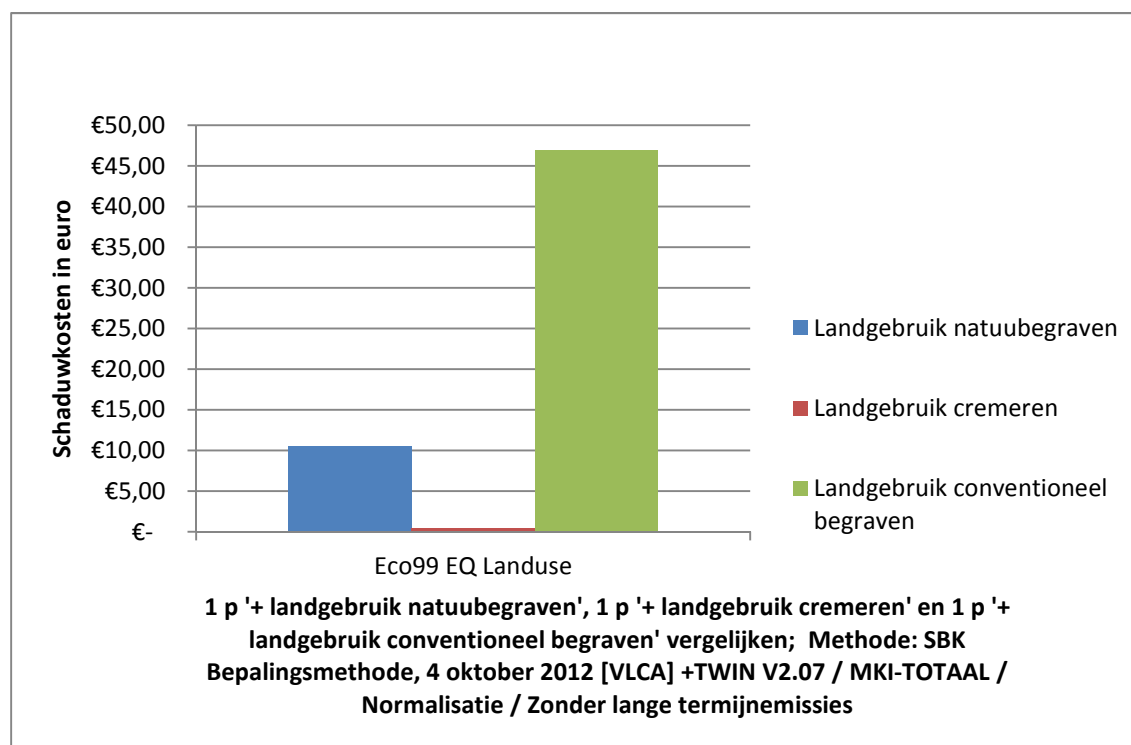
Landgebruik begraven en strooien na crematie:



Groen recreatiegebied (recr.green 7;7;15;12) met een waarde van: 0,84 PDF*m2yr / m2y

Indien dit wordt berekend aan de hand van de opgegeven vierkante meters landgebruik komen de volgende genormaliseerde getallen er uit.

	landgebruik grafrust (m2/a)	Enkelvoudige score (schaduwkosten methode TWIN- landgebruik) in Euro
Natuurbegraven	468	€ 10,54
Conventioneel begraven	273	€ 46,96
Cremeren	2,7	€ 0,46



Figuur 8-1 Grafiek die de verhouding weergeeft tussen het landgebruik van natuurbegraven, cremeren en conventioneel begraven. Volgens de Eco99 Landuse methode genormaliseerd

4. Type kist

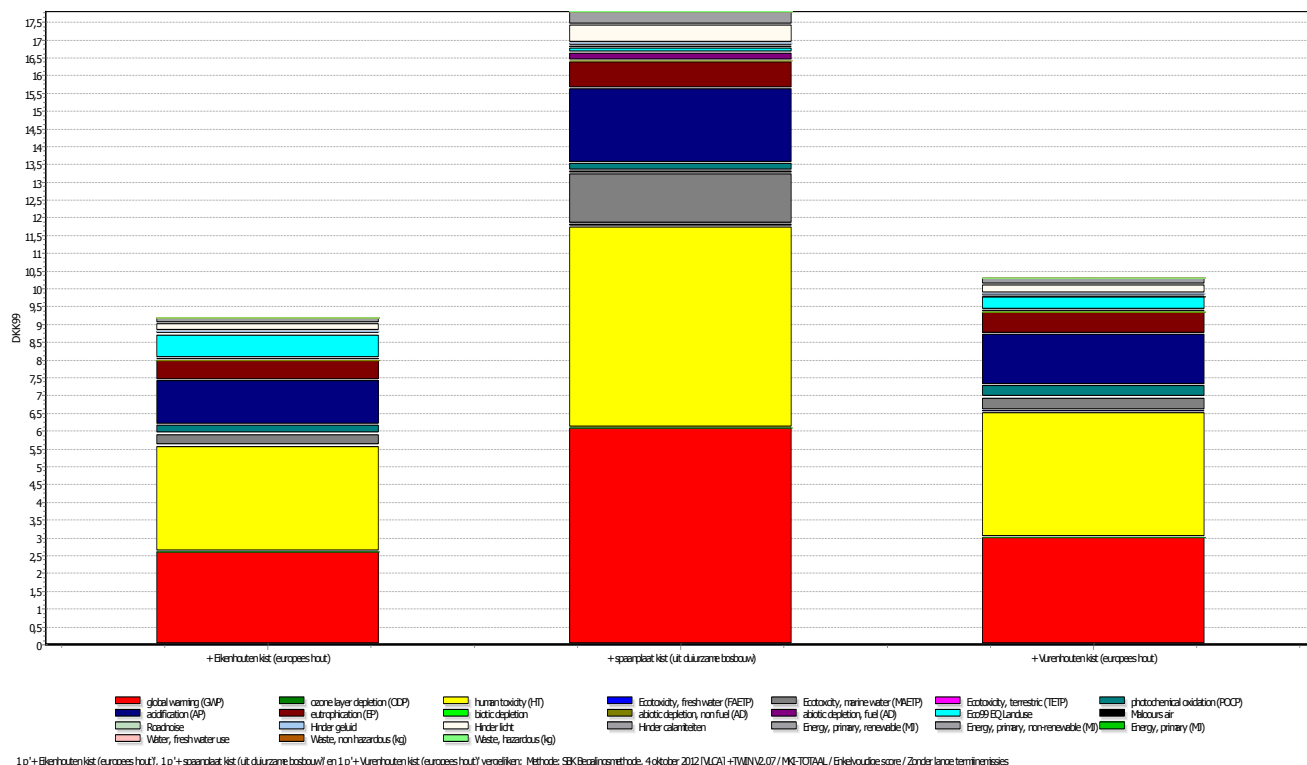
De keuze voor het type kist is in volgens het TNO onderzoek nadelig voor de eiken- en vurenhouten kisten, omdat er voor spaanplaat veel gebruik wordt gemaakt van gerecycled hout. We hebben de kisten ook doorgerekend met de TWIN methode (Methode: SBK Bepalingsmethode, 4 oktober 2012 [VLCA] +TWIN V2.07). Om de berekeningen door te voeren hebben we een vergelijking gemaakt tussen verschillende type kist soorten en de milieu-impact ervan. Hierbij is alleen het hout van de kisten vergeleken. De aangehouden gewichten van de kisten is overgenomen uit bijlage C van het rapport.

Hieruit komen de volgende resultaten:

Effectcategorie	Eenheid	Eikenhouten kist	spaanplaat kist	Vurenhouten kist
Totaal	Euro	€ 1,06	€ 2,05	€ 1,18
global warming (GWP)	Euro	€ 0,30	€ 0,70	€ 0,35
ozone layer depletion (ODP)	Euro	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
human toxicity (HT)	Euro	€ 0,34	€ 0,65	€ 0,40
Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	Euro	€ 0,00	€ 0,01	€ 0,01
Ecotoxicity, marine water (MAETP)	Euro	€ 0,03	€ 0,16	€ 0,04
Ecotoxicity, terrestic (TETP)	Euro	€ 0,00	€ 0,01	€ 0,00
photochemical oxidation (POCP)	Euro	€ 0,03	€ 0,02	€ 0,04
acidification (AP)	Euro	€ 0,15	€ 0,24	€ 0,17
eutrophication (EP)	Euro	€ 0,06	€ 0,09	€ 0,07
biotic depletion	Euro	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
abiotic depletion, non fuel (AD)	Euro	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
abiotic depletion, fuel (AD)	Euro	€ 0,01	€ 0,02	€ 0,01
Eco99 EQ Landuse	Euro	€ 0,08	€ 0,02	€ 0,04
Malloours air	Euro	€ 0,00	€ 0,01	€ 0,00
Roadnoise	Euro	€ 0,01	€ 0,01	€ 0,01
Hinder geluid	Euro	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Hinder licht	Euro	€ 0,02	€ 0,06	€ 0,03
Hinder calamiteiten	Euro	€ 0,02	€ 0,05	€ 0,02

Figuur 8-2 Schaduwkosten van de verschillende houtsoorten, voor de verschillende kist types.

Uit deze analyse blijkt dat de eikenhouten kist de laagste milieu-impact heeft, daarna de vurenhouten kist en de hoogste milieu-impact heeft de spaanplaten kist. Hoewel de verschillen niet erg groot zijn.



Figuur 8-3 Grafiek met de schaduwkosten van de verschillende houtsoorten bij het gebruik van verschillend kist types. Doorgerekend met de methode: 'SBK Bepalingsmethode, 4 oktober 2012 [LCA] +TWIN V2.07 / MKI-TOTAAL'

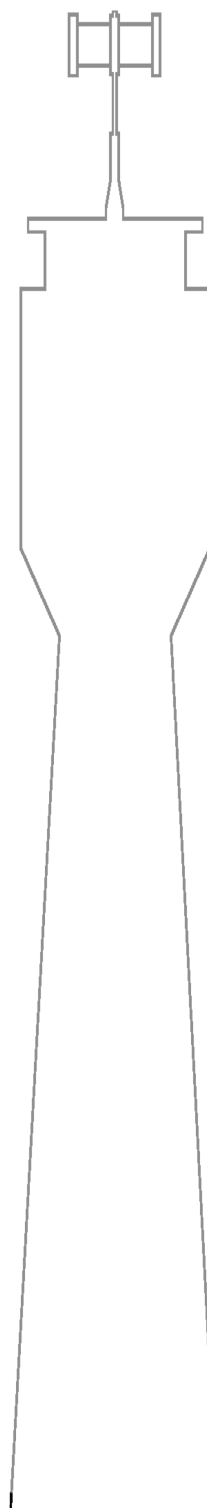
De schaduwkosten van spaanplaat worden met name veroorzaakt door de proceskaart: 'Urea formaldehyde resin, at plant/RER U.' dit is de hars die kleine stukjes hout (spaanders) verbindt.

Indien een andere methode gebruikt wordt, kunnen de resultaten van de verschillende typen kist ook veranderen. Er is in Hoofdstuk 5.2.4 ingegaan dat deze resultaten (onder andere) afhankelijk zijn van de weging.

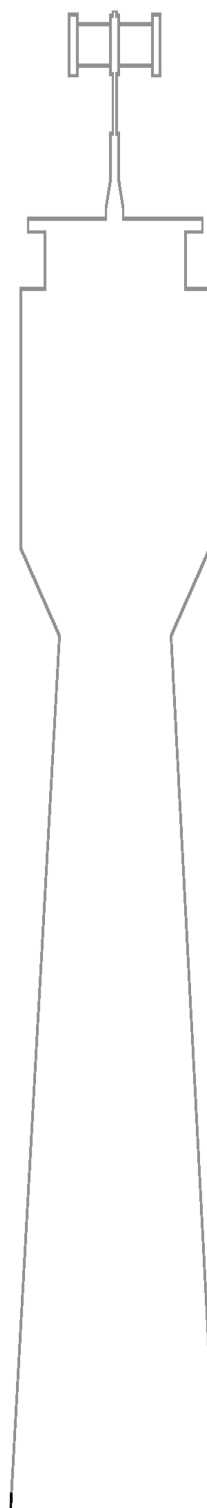
Bijlage A: Opmerkingen uit PDF

De opmerkingen op de rapportage: CONCEPT LCA Rapport Natuurbegraven v1.5_14112014.
Deze opmerkingen zijn ook in de PDF gemaakt.

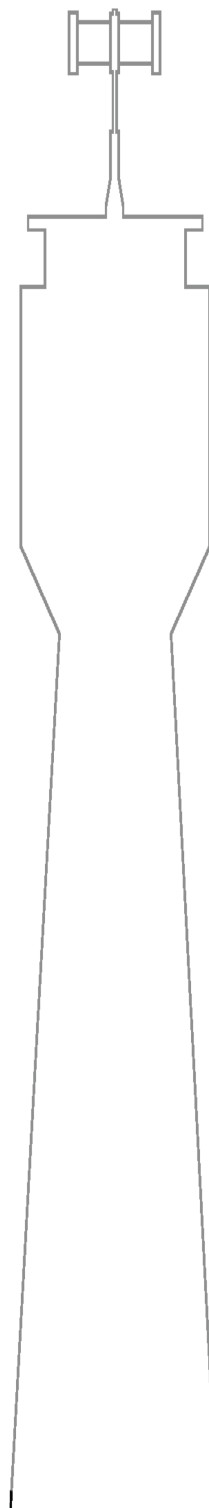
Pagina:	Opmerkingen review NIBE:	Reactie TNO:
11	Het recyclingproces en hoe het milieuvoordeel van recycling is bepaald is nog niet helder uitgelegd. De Milieubelasting van het recyclingproces is ook niet helder hoe die bepaald zijn en welke kaarten hiervoor gebruikt zijn.	De tekst in paragraaf 2.2.4 is aangepast (verduidelijkt). In de eerste versie van het rapport waren de gebruikte proceskaarten reeds vermeld (Tabel 9 in bijlage C).
12	Zin in het rapport: 'De ISO-normen staan weging toe, mits niet gebruikt in een openbaar rapport van een vergelijkende studie'. Als de bedoeling van deze review is dat het rapport openbaar gemaakt wordt dan mag er officieel niet gewogen worden. Het NIBE maakt echter al jaren vergelijkende LCA's waarin de milieueffecten gewogen worden.	Er wordt expliciet verwezen naar de ISO normen, zodat duidelijk is dat de weging subjectiever is. Daarom zijn ook eerst de ongewogen resultaten besproken. Echter is het gemakkelijker om de resultaten te overzien als de weging wordt toegepast, daarom is toch ook een gewogen resultaat gepresenteerd.
12	Zin in het rapport: 'De nieuwe techniek wordt beschouwd alsof ze reeds volledig operationeel is en geïntegreerd in het Nederlandse uitvaartwezen'. Deze aanname is logisch om een eerlijke vergelijking te maken maar wel te onderzoeken waard wat de gevoeligheid hiervan is.	In theorie kan een proces hierdoor efficiënter worden, waardoor de milieu impact lager wordt. Bij het natuurbegraven lijkt dit niet heel erg reëel.
14	Hier wordt de Vlaamse organisatie VITO als expertbureau genoemd. Deze review wordt nu echter door het NIBE uitgevoerd.	Aangepast.
17	De bronnen om van de ReCiPe Midpoints effectcategorie te normaliseren naar schaduwkosten zijn gebaseerd op interne rapporten. Dit gaat om de bron: 'Harmelen, Horssen, Jongeneel, & Ligthart, 2012. Meer uitleg over de methode is hier gewenst.	In de reactie op de review (zie onder "2. Reproduceerbaarheid" in deze bijlage) hebben we toegelicht hoe deze berekening tot stand is gekomen.
29	Alinea onder aan de pagina, over het onderhoud van de natuurbegraafplaats. Hierbij zou je kunnen afvragen of het natuurbeheer toegerekend moet worden aan de begraafplaats? Het bos zou waarschijnlijk ook beheerd worden als het geen begraafplaats maar natuurgebied was.	Dit hangt van het natuurgebied af. Een deel zal ook gebruikt worden voor het toegankelijk maken tijdens een begrafenis. Daarom is de termijn van onderhoud gelijk gesteld aan de periode van grafrust.
31	Onder aan de pagina bij het hoofdstuk Humane Toxiciteit. Hier wordt niet vermeld welke	Toegevoegd.



	metalen het meest opleveren in het recyclingproces. Zijn dat de metalen in het lichaam, de sieraden of de metalen van de kist.	
41	Bij het hoofdstuk 5.2.2 Gevoeligheidsanalyse #1: Andere gevoeligheden over recycling zijn niet meegenomen, zoals: wat als de sieraden ook bij andere locaties worden verwijderd? En wat als de hoeveelheden materialen bij de opgravingen varieert bij conventioneel begraven.	De terugwinning van metalen is berekend uit de gegevens die aangeleverd zijn in vorige studies (dus nauwkeuriger). Daarbij is dit onderzoek specifiek gekeken naar natuurbegraven.
62, 63 en 64	Voor de houtprocessen is er uitgegaan van air dried. In Nederland wordt bijna alles actief gedroogd. Het proces 'kiln dried' lijkt me daarom ook representatiever	Aangepast.
62	Er ontbreken transport proceskaarten van diverse materialen tot aan de grafkist.	Er zijn geen gegevens bekend (uit vorige studies). De verwachting is dat dit een minimale bijdrage zal zijn. Dit is dus niet verder opgepakt.
62	Er ontbreken gegevens over de assemblage van de kist.	Er zijn geen gegevens bekend (uit vorige studies). De verwachting is dat dit een minimale bijdrage zal zijn. Dit is dus niet verder opgepakt.
62	Voor het soortelijk gewicht van spaanplaat is 700 kg/m ³ aangehouden, in de Ecoinvent kaart is een soortelijk gewicht van 600 kg/m ³ aangehouden.	Aangepast.
62	Voor eikenhout is zachthout aangehouden, maar eikenhout is hardhout.	Aangepast.
63	Profiel Electricity, low voltage, production NL, at grid/nl aangehouden dit moet het profiel zijn inclusief import.	Aangepast.
63	Voor benzine is het CH profiel aangehouden het Regionale profiel is beter van toepassing: Petrol, low-sulphur, at refinery/RER U. Is ook alleen de productie van de petrol zonder het verbrandingsproces (emissies).	Vergelijkbaar opgelost als bij natuurbegraven door als proxi kettingzaag te nemen.
64	Hier gelden de zelfde opmerkingen voor elektriciteit en benzine als op pagina 63.	Idem opgelost als op pagina 63.
67	Proceskaart van TNO over het linnen is niet bij ons beschikbaar.	Dit komt uit een TNO studie, de verwijzing is toegevoegd.
71	Lining / bekleding lijken het zelfde te bedoelen. Deze profielen maken een groot gedeelte uit van de milieu-impact maar dit is verder nergens	Dit is als onderdeel van de kist meegewogen. En genoemd als katoen voor de kist in de



	vermeld.	resultaten.
--	----------	-------------



8.1.1.1.1.1 Bijlage B: Toetsingstabel

ALGEMENE EISEN

Onderwerp	Criterium	Voldoet	Pagina	Opmerking
Methodische eisen	De LCA - methode moet voldoen aan de methodische eisen uit NEN-EN-ISO 14040 en NEN-ISO 14044.	ja	15	
Algemene gegevens:				
Doel	Doel van het LCA onderzoek is geformuleerd	ja	8	Doel van de LCA is geformuleerd, als alleen voor intern gebruik. De vraag is of dit nog steeds het doel is? De externe review wijst er namelijk op dat dit rapport ook voor extern gebruik is.
Doelgroep	De doelgroep van het LCA onderzoek is omschreven	nee	8	Doelgroep is niet specifiek benoemd, maar er staat wel vermeld dat het onderzoek voor intern gebruik is dus daarmee is de opdrachtgever de doelgroep
Functionele eenheid	Er is duidelijk aangegeven of er sprake is van een product of functionele eenheid	ja	8	functionele eenheid
Levenscyclus fasen	De levenscyclusfasen opgenomen en omschreven	ja	15	
Functionele eenheid	Bevat omschrijving van de functie(s) die moet(en) worden vervuld en van de context van de toepassing	ja	15	

SYSTEEMGRENZEN EN CRITERIA VOOR HET BUITENBESCHOUWING LATEN VAN INPUT EN OUTPUT

Onderwerp	Criterium	Voldoet	Pagina	Opmerking
Procesboom	De levenscyclus moet worden gemodelleerd in de vorm van een procesboom. De procesboom omvat alle economische stromen (zowel goederen (materialen, producten) als diensten), zowel kwalitatief (namen van de processen) als kwantitatief (hoeveelheden), die nodig zijn voor de producteenheid of om de functie(s) uit de functionele eenheid te kunnen vervullen.	nee		wel procesboom maar niet Ecologie volledig geen gewichten etc.
	De procesboom moet ten minste onderscheid maken naar de volgende fasen in de levenscyclus: - productiefase; - transportfase; - bouw- en installatieproces / aanleg; - gebruiks- en onderhoudsfase; - sloop- en afvalfase; - milieulasten en baten recycling / hergebruik.	nee		transport fases en recycling/ hergebruik niet als losse fase opgenomen
Check systeemgrenzen	Systeemgrenzen zijn opgenomen, afwijkingen zijn voldoende beargumenteerd.	ja		
Criteria voor het buitenbeschouwing laten van input en output	Uitgangspunt is dat alle inputs en outputs waarvoor data beschikbaar is wordt meegenomen in de berekening. - Schattingen voor ontbrekende data zijn conservatief ('worst case') gedaan. - Procesgegevens zijn inclusief infrastructuur en kapitaalgoederen (zoals de forfaitaire Ecoinvent data).	nee		niet al de proceskaarten zijn juist onderbouwd
Gemiddeld product	De gemiddelde samenstelling is gebaseerd op: jaarcijfers of meerjarige cijfers van de gehele productie, gewogen op basis van productie; of op een samenstelling die meer dan 80% van de productiehoeveelheid in dat jaar van studie dekt.	ja		Als dit niet mogelijk was of als er van afgeweken is, is dit onderbouwd.

SELECTIE VAN DATA EN DATAKWALITEIT VEREISTEN

Onderwerp	Criterium	Voldoet	Pagina	Opmerking
Representativiteit van de processen	De processen die plaatsvinden moeten een actueel (voor de periode of het tijdstip van de milieuverklaring) geografisch en technologisch representatief beeld geven.	ja		Bouwbiologie en Ecologie
	Individuele locaties moeten hun gegevens ontleen aan die locatie.	n.v.t.		
Representativiteit van de overige gegevens	De overige processen in het productsysteem moeten een representatief of typerend beeld geven van de actuele geografische en technologische situatie. Het toepassingsgebied waarop deze norm betrekking heeft, is Nederland. Onder 'representatief' wordt verstaan dat de gegevens de echte populatie goed weergeven. Onder 'typerend' wordt verstaan dat de gegevens een bepaalde, veel voorkomende situatie beschrijven (ook wel modaal genoemd).	ja		Waarbij dit niet van toepassing was is het onderbouwd.
Datakwaliteit	De datakwaliteit wordt omschreven en onderbouwd.	nee		Datakwaliteit is niet of onvoldoende beschreven, doordat er ook niet beschreven openbare en niet openbare bronnen gebruikt zijn.

INVENTARISATIE: DATAVERZAMELING

Onderwerp	Criterium	Voldoet	Pagina	Opmerking
Datacategorieën	Er moeten milieu-ingrepen van de processen uit het productsysteem worden verzameld binnen de volgende datacategorieën: onttrekking van grondstoffen, emissies naar lucht, emissies naar water en emissies naar bodem.	ja	Bijlage C	Bouwbiologie en Ecologie
Dataverzameling Ingrepen	Van elke ingreep moet de naam, de eenheid en de hoeveelheid worden benoemd. De naam moet aangeven wat daadwerkelijk is gemeten.	ja	Bijlage C	
Dataverzameling Afval	Is van vrijkomende stoffen bepaald of het afval is? Is de end-of-waste status gecontroleerd? Is van het afval bepaald of het gevaarlijk afval is?	ja	Bijlage C	
Gegevensbronnen	De gegevens moeten uit primaire bronnen afkomstig zijn en geldig (representatief) voor de periode die in de milieuverklaring staat vermeld.	ja	Bijlage C	
	De gegevens van de overige processen moeten geldig (representatief) zijn voor de periode die in de milieuverklaring staat vermeld.	Ja	Bijlage C	
	Er moeten gangbare publieke bronnen en literatuurbronnen worden gebruikt. Als richtlijn kan worden gehanteerd (EN 15804 6.3.7): • <10 jaar voor achtergrondgegevens • <5 jaar voor de gegevens van de fabrikant • Gegevens fabrikant op basis van 1 jaar gemiddeld • Tijd periode van 100 jaar in het geval van een stortscenario - langer indien relevant • Technische achtergrond voldoet aan de fysieke werkelijkheid • Integriteit van generieke data, geldigheid van systeemgrenzen en cut-off criteria voor generieke data aangetoond	nee		niet alle bronnen waren publiekelijk toegankelijk. Zie opmerkingen in de PDF van het TNO rapport

	Indien er processen of forfaitaire waarden uit verschillende regio's beschikbaar zijn, wordt de volgende prioriteitsvolgorde aangehouden: 1) het desbetreffende land; 2) een vergelijkbaar buurland; 3) de betreffende regio (bijv. Noordwest Europa); 4) het desbetreffende (deel)continent; 5) de wereld.	ja	
Betrouwbaarheid	De waarde van een milieu-ingreep moet een gemiddelde zijn van metingen of berekeningen over een tijdsperiode waarbinnen voorkomende fluctuaties als gevolg van seizoensinvloeden, meetmethode en dergelijke worden uitgemiddeld.	nee	Voor natuurbegravingen was dit niet mogelijk
Representativiteit	De waarden van de milieu-ingrepen moeten representatief zijn voor het proces waarvoor de milieugegevens worden verzameld.	nee	Zie opmerkingen in de PDF van het TNO rapport
Validatie van gegevens	De validiteit van de processen moet worden nagegaan door bepaling van de massabalans per proces en correctie van afwijkingen tot een nauwkeurigheid van >95 %.	ja	
Vastlegging van de datakwaliteit per eenheidsproces	De betrouwbaarheid van de milieu-ingrepen moet, voor zover er gegevens over bekend zijn, worden vastgelegd in de documentatie van de procesgegevens: - tijdsgebonden representativiteit - geografische en technologische representativiteit van de processen - compleetheid van de economische stromen, door een verantwoording van afgekapte processen - compleetheid van de milieu-ingrepen, door een verantwoording van geschatte milieu-ingrepen	nee	geen vastlegging van datakwaliteit gevonden
Reproduceerbaarheid	Een referentie van alle bronnen, zowel primaire als publieke bronnen en literatuur is vastgelegd. Hierin zijn ten minste opgenomen: titel, auteur/opsteller en jaartal.	nee	niet alle bronnen waren terug te vinden, ook zijn er interne bronnen gebruikt. Zie opmerking in PDF document
Consistentie	Er moet een verantwoording van de consistentie worden gegeven door een toelichting van gebruikte bronnen en bewerkingen die zijn gedaan om de LCA consistent te krijgen.	nee	zie opmerkingen in de PDF van het TNO rapport

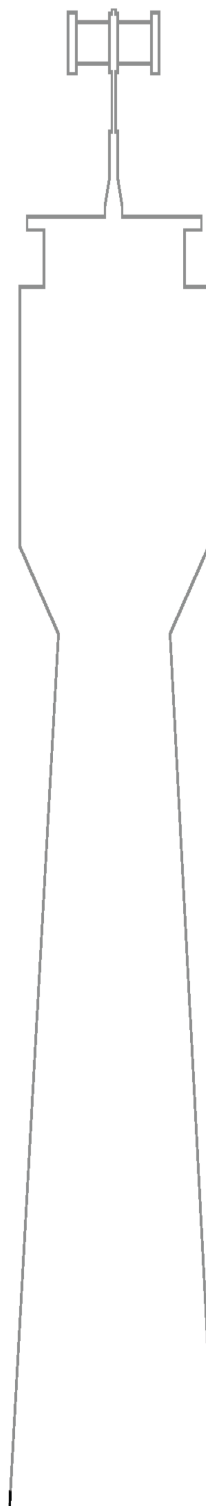
LEVENSCYCLUSINVENTARISATIE: REKENPROCEDURES EN ALLOCATIE

Nederlands Instituut voor

Onderwerp	Criterium	Voldoet	Pagina	Opmerking
Energieopwekking	Voor energieopwekking is uitgegaan van Ecoinvent processen. Indien niet van Ecoinvent is uitgegaan dan is dat gemotiveerd en is gerekend met de netto calorische waarde. De motivatie, of een gevoeligheidsanalyse, maakt duidelijk dat er geen grote afwijkingen in het eindresultaat zullen zijn.	nee		verkeerde Ecoinvent profiel voor energieopwekking gebruikt
Allocatie bij: 1. multi-uitvoerprocessen; 2. multi-invoerprocessen; 3. recycling- en hergebruikprocessen.	Allocatie van multi-uitvoer processen moet plaatsvinden op basis van massa als verdeelsleutel. Indien de 'producten' uit het multi-uitvoer proces sterk verschillen in economische waarde of eigenschappen waardoor massa als verdeelsleutel niet representatief is, moet een andere, passende verdeelsleutel worden toegepast. Dergelijke afwijkingen moeten zijn beargumenteerd.	nee		Allocatie van de recycling van metalen is niet helder geformuleerd en de aangehouden processen hiervan zijn niet duidelijk.

LEVENSCYCLUSEFFECTBEOORDELING

Onderwerp	Criterium	Voldoet	Pagina	Opmerking
Niet-gekaracteriseerde ingrepen	Indien niet alle milieu-ingrepen zijn gekarakteriseerd: - Indien de oorzaak een afwijkende naamgeving betreft: correctie van de naamgeving, zodat de stof alsnog wordt gekarakteriseerd; - Indien de oorzaak een ontbrekende karakterisatiefactor is: karakterisatie volgens een chemisch en fysische gelijksoortige stof. Indien die niet aanwezig is, dan opname in een lijst van niet-gekaracteriseerde ingrepen, met daarbij de vermelding wanneer wel een milieueffect kan worden verwacht	nee		niet bij het rapport



LEVENSCYCLUSINTERPRETATIE

Onderwerp	Criterium	Voldoet	Pagina	Opmerking
Gevoeligheidsanalyse	Bevat de invloed van de belangrijkste keuzes en aannames die in de LCA zijn gemaakt en gedaan.	nee		Bouwbiologie en Ecologie
	Bevat de invloed van geografische en technologische spreiding binnen een groep van productielocaties. Hanteer de hoogste en laagste waarden in de gevoeligheidsanalyse.	nee		
	Bevat de spreiding als gevolg van middeling bij het opstellen van een groepsgemiddelde. Hanteer de hoogste en laagste waarden in de gevoeligheidsanalyse	nee		niet voor al de processen gedaan
	Bevat de spreiding als gevolg van onzekerheid in uitgangspunten binnen de allocatie bij recycling.			
	Bevat de spreiding als gevolg van onzekerheid in uitgangspunten binnen de allocatie bij recycling.	nee		
	De verschillen bedragen niet meer dan 20% op één van de milieueffecten ten opzichte van de gemiddelde waarde. Als uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de verschillen meer dan 20 % bedragen, moet er worden opgesplitst in aparte milieuverklaringen om binnen de 20%-grens blijven.	nee		verschillen van de gemaakt gevoeligheidsanalyse zijn groter

